Инж. А. Я. СОСКИН

МЕХАНИКА

применительно к деревообрабатывающей промышленности

ГОСЛЕСТЕХИЗДАТ
МОСКВА 1933

Инж. А. Я. СОСЧИН

МЕХАНИКА

применительно к деревообрабатывающей промышленности

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЛЕСНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1933 ЛЕНИНГРАД

Организатору, борцу за индустриализацию и стойкому большевику

Федору Ивановичу Мельникову

посвящаю

ПРЕДИСЛОВИЕ

В период ударных темпов в индустриализации деревообрабатывающей промышленности при крайнем недостатке квалифицированных кадров ощущается большая потребность в новых типах учебных пособий по основным техническим дисциплинам, в таких пособиях, которые, удовлетворяя нужды учебных заведений, готовящих новые кадры, могли бы также служить руководствами в борьбе за овладение техникой для квалифицированных рабочих и специалистов-практиков, работающих в промышленности.

Опыт показывает, что отвлеченное прохождение курса элементарной механики с трудом воспринимается и плохо усваивается, в то время как увязка этого предмета с производственной специальностью крайне облегчает подготовку производственно-технической интеллигенции из рабочего класса.

Настоящая книга является первой попыткой дать курс элементарной механики, разработанный применительно к лесопильно-деревообделочным производствам. Книга должна служить учебным пособием для профтехнических школ и техникумов и руководством для повышения знаний квалифицированных рабочих, бригадиров, мастеров и техников.

Главное наше внимание было уделено подбору примеров и задач и их детальной разработке, что поможет разрешению ряда теоретических и практических вопросов в области механической обработки дерева.

Приведенными номограммами для графического расчета различных технических формул можно с успехом пользоваться при производстве всякого рода технических расчетов.

Указания на недостатки, ошибки и самая широкая критика книги будут приняты с благодарностью.

Инж. А. Я. Соскин.

ГЛАВА 1

ПРЕДМЕТ МЕХАНИКИ. ИЗМЕРЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

§ 1. Введение. Механика есть наука о движении вещественных тел и его причинах и занимается разъяснением вопросов:

1) о движении тел;
2) о силах, действующих на тело;
3) о препятствиях, мешающих движению тела;
4) о машинах, с помощью которых получаются такие движения, какие нам нужны в том или ином производстве.

В нашем курсе будут изложены начала механики и применение их при разрешении многообразных задач в практике лесопильно-деревообделочных производств.

В первую очередь нами будут изученны основные элементы всякого движения: 1) пройденный путь, 2) время, 3) скорость.

§ 2. Единицы измерений механических величин. Чтобы иметь точное представление о какой-либо величине, необходимо ее измерить, т. е. сравнить с однородной величиной, принятой за единицу, и узнать, во сколько раз данная величина больше или меньше выбранной единицы.

Прежде чем делать сравнение тех или других величин, необходимо знать основные единицы измерения и их наименования.

Из существующих систем мер при практических измерениях в технике пользуются технической системой мер.

Основными единицами измерений в этой системе мер служат:
единица длины — метр (*м*),
единица времени — секунда (сек.),
единица силы — килограмм — вес (*кг*).

Указанные единицы измерений — о с н о в н ы е, и точное представление о них можно получить, пользуясь общеупотребительными приборами для их измерений (метры, часы и пр.).

Единица длины (измерение пройденного пути). Путь, проходимый точкой, измеряется линейными мерами (измеряется длина пройденного пути, т. е. сравнивается с длиной, принятой за единицу).

Основной единицей является метр, равный одной десятимиллионной четверти земного меридиана (длины окружности земного шара, проходящей через полюс земли).

Метр подразделяется на ряд более крупных и мелких единиц:
метр = 1 000 миллиметрам (*мм*),
метр = 100 сантиметрам (*см*),
метр = 10 дециметрам (*дм*),
метр = 0,001 километра (*км*).

В скобках указаны принятые краткие обозначения.

Пройденный путь обозначается буквой S (эс).

Единицы времени. За основную единицу времени принимается **с е к у н д а**, которая составляет $\frac{1}{24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{1}{86400}$ средних солнечных суток.

Сутки = 24 час. (ч.).

1 час (ч.) = 60 минутам (мин.).

1 минута (мин.). = 60 секундам (сек.).

В скобках указаны принятые краткие обозначения.

Время обозначается буквой t (тэ).

Приборами для измерения времени служат часы; более точные из них, которыми пользуются при точных измерениях, называются хронометрами.

§ 3. Величины сложного наименования. Основные единицы мер легко представимы и не вызывают никакой трудности усвоения. Из этих основных величин простого наименования определяют остальные единицы измерений — технические величины с л о ж н о г о н а и м е н о в а н и я.

Для выяснения сложной размерности этих величин, порядка их получения, выгодности и удобства пользования ими для производства вычислений приведем несколько примеров.

Положим, нам дано задание выяснить норму расхода смазки, необходимой для лесопильных рам. Положим, что опытным путем определено количество смазочных веществ, достаточное для 1 лесопильной рамы при работе в течение 1 смены (7 час.) Мы говорим, что это будет норма смазки на одну лесораму-смену.

Эту новую величину — одну лесораму-смену — конкретно себе представить нельзя, но тем не менее на практике мы можем ею пользоваться.

Если на заводе имеется 6 лесопильных рам, работающих в 3 смены в течение 300 дней, то мы говорим, что расход смазки будет соответствовать $6 \cdot 3 \cdot 300 = 5400$ лесорамо-сменам.

Такое же количество смазочных материалов потребуется для другого завода (в случае одинаковости нормы смазки), имеющего 12 лесопильных рам при работе в 3 смены в течение 150 дней: $12 \cdot 3 \cdot 150 = 5400$ лесорамо-смен.

Так как число сложного наименования (например лесорамо-смена, вагоно-километры, килограммо-километры) получилось при перемножении чисел простых наименований, условное наименование полученной новой величины выписывается в виде произведения простых наименований перемножаемых величин.

Можно привести ряд подобного рода примеров получения величины сложного наименования, представить которые в виде конкретного образа невозможно, но тем не менее для всех понятно, что пользоваться этими величинами вполне возможно и что при этом устраняется надобность в добавочных множителях, усложняющих вычисление.

О ДВИЖЕНИИ И СКОРОСТИ

§ 4. Равномерное движение. Определение скорости. Движение называется равномерным, если тело в какие угодно равные промежутки времени будет проходить одинаковые пути.

Приведем пример равномерного движения. Выписываем в виде таблицы истекшее от начала движения время в секундах и соответственно пропорциональные времени пройденные пути в метрах (табл. 1).

Таблица 1

сек	0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
м	0	2,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Из этой таблицы видно, что на прохождение пути в 5 *м* затрачивается 1 сек.

Составим целый ряд отношений различных путей к соответствующим промежуткам времени, истекшим от начала движения (табл. 2).

Таблица 2

$$\frac{50\ м}{10\ сек.}=\frac{45\ м}{9\ сек.}=\frac{40\ м}{8\ сек.}=\frac{35\ м}{7\ сек.}=\frac{30\ м}{6\ сек.}=\frac{5\ м}{1\ сек.}=\frac{0{,}05\ м}{0{,}01\ сек.}=5\ \frac{м}{сек.}$$

Быстроту движения в данном примере будет характеризовать постоянное отношение пути ко времени $\left(5\frac{м}{сек.}\right)$, которое остается всегда одним и тем же, как бы малы ни были проходимые пути и соответствующее время.

Обозначив путь, проходимый точкой в течение промежутка t единиц времени через S единиц длины, и разделив второе значение на первое, получим скорость U (вэ).

$$V=\frac{S\ (\text{единицы длины})}{t\ (\text{единицы времени})}$$

Итак, скорость равномерного движения представляет собой отношение пути к соответствующему промежутку времени.

В технической системе мер S (пройденный путь) измеряется в *м*, t (время) в сек. и V (скорость), как особая величина, получающаяся в виде отношения пути ко времени, имеет сложное составное наименование в виде дроби *м/сек* и читается так: «скорость V метров в секунду».

Делением конечного пути на конечное время мы получим среднюю скорость движения, каковая величина не будет характеризовать быстроту движения в каждый момент времени. Например пешеход за определенный длительный промежуток времени прошел определенный путь; во время ходьбы он мог замедлить свой ход, мог на некоторых участках пути пойти скорее; поезд на перегоне между двумя станциями может увеличить и уменьшить скорость своего движения в зависимости от состояния пути (подъем, уклон).

Если же мы разделим ничтожно малый путь на соответствующее ничтожно малое время, то полученное отношение будет очень близко к той истинной скорости, которую данное тело имеет в тот момент времени, от которого мы отсчитываем ничтожный промежуток времени.

Истинная скорость движения есть отношение ничтожно малого пути к ничтожно малому промежутку времени, затраченному на прохождение этого пути[1].

Из приведенного видно, что при равномерном движении средняя скорость движения $\left(\frac{50}{10} = 5\,м/сек\right)$ равняется истинной скорости

$$\left(\frac{0{,}05}{0{,}01}\,м/сек = \frac{5}{1} = 5\,м/сек\right).$$

Если мы говорим, что лошадь движется равномерно со скоростью 18 *км/час*, то это значит, что в каждый момент времени скорость равняется 18 *км/час*, т. е. лошадь в час пробегает 18 *км*, и если взять ничтожный промежуток времени в $\frac{1}{3600}$ часа (1 сек.), то путь, проходимый за это время, равен $\frac{18}{3600}$ *км* (5 *м*), и частное отделения пути на время, т. е. истинная скорость, будет равно

$$V = \frac{(18:3600)\ км}{(1:3600)\ часа} = 18\,км/час = 5\,м/сек.$$

§ 5. Основные формулы прямолинейно-равномерного движения. Рассмотрим отдельно равномерное движение по прямой линии и по окружности.

1) Из вышеизложенного мы знаем, что

$$V = \frac{S}{t}\,м/сек \tag{1}$$

скорость равна пройденному пути, деленному на время.

---

[1] Более строгое определение истинной скорости следующее: истинная скорость движения есть отношение бесконечно малого пути к бесконечно малому промежутку времени, затраченному на прохождение этого пути.

2) Зная скорость и время, легко из формулы (1) определить пройденный путь:

$$S=V\cdot t\ м \tag{1а}$$

пройденный путь равен скорости, умноженной на время.

3) Если известны скорость и пройденный путь, то время, затраченное на этот путь, определяется по формуле:

$$t=\frac{S}{V}\ сек. \tag{1б}$$

время равно пройденному пути, деленному на скорость.

§ 6. Равномерное движение по окружности. Выведенные в предыдущей главе формулы распространяются на все виды равномерного движения, независимо от того, будет ли оно прямолинейным или криволинейным. Тем не менее необходимо отдельно выделить равномерное движение точки по окружности (вращательное движение), так как оно играет весьма важную роль при работе машин, и детальное знакомство с ним является крайне необходимым.

Для определения скорости движения по кругу (окружная скорость) нам по общей формуле нужно знать величину пройденного пути и время, потраченное на этот путь.

Каждая точка на окружности (круга, шкива, колеса) проходит при одном полном обороте путь, равный длине окружности круга. Определить длину окружности непосредственным измерением возможно (например обернуть плотно вокруг шкива один раз нить и затем измерить длину этой нити, каковая величина и будет длиной окружности).

Обыкновенно же ограничиваются непосредственным измерением диаметра или радиуса окружности. Математика указывает способ определения длины окружности, если известен диаметр; для этого последний необходимо помножить на число 3,14; обозначают это число греческой буквой π (пи).

Число 3,14 относится ко всем кругам, большим или маленьким, и является постоянной неизменной величиной.

Обозначив длину окружности через C, диаметр окружности буквой D, радиус окружности r ($D = 2r$), получим, что

$$C=2\pi\cdot r=\pi D.$$

Если круг или шкив обернется в одну минуту n раз, т. е. сделает n оборотов, то путь (S), пройденный точкой по окружности, будет равняться n окружностям.

$$S=n\cdot C=\pi\cdot D\cdot n=2\pi\cdot r\cdot n.$$

Указанный путь пройден в течение 1 минуты (60 сек). Следовательно, подставляя в общую формулу скорости

$$V=\frac{S}{t}$$

найденные величины, получим формулу окружной скорости:

$$V=\frac{\pi\cdot Dn}{60}=\frac{2\pi\cdot rn}{60}\cdot м/сек. \tag{2}$$

Эту формулу можно делать более удобной для практического применения, если $\pi = 3, 14$ разделить на 60, или числителя и знаменателя разделить на $\pi = 3{,}14$; тогда

$$V=0{,}0524\ D\cdot n=\frac{Dn}{19{,}1}\ м/сек. \tag{2а}$$

$$V=1{,}0048\ r\cdot n=\frac{r\cdot n}{9{,}5}\ м/сек. \tag{2б}$$

D или r измеряется в метрах, n — число об/мин.

С помощью вышеуказанных формул могут быть разрешены все задачи о равномерном движении по окружности.

Если известны V, D (или r), то n определяется из формулы (2) и равняется

$$n=\frac{60\cdot V}{\pi D}=\frac{60\cdot V}{2\pi\cdot r} \tag{3}$$

$$n=19{,}1\frac{V}{D}=9{,}5\frac{V}{r} \tag{3а}$$

В случае необходимости определения D или r по известным V и n пользуемся формулой

$$D=\frac{60\cdot V}{\pi\cdot n}\ м;\quad r=\frac{30\cdot V}{\pi\cdot n}\ м, \tag{4}$$

$$D=19{,}1\frac{V}{n}\ м;\quad r=9{,}5\ \frac{V}{n}\ м, \tag{4а}$$

(так как $60 : \pi = 60 : 3{,}14 = 19{,}1$ и $60 : 2\pi = 60 : 6{,}28 = 9{,}5$).

Если скорость V будет дана не в *м/сек*, а в *м/мин*, то

$$V=\pi\cdot D\cdot n=2\pi\cdot r\cdot n\ \frac{м}{мин}, \tag{5}$$

$$n=\frac{V}{\pi\cdot D}=\frac{V}{2\pi\cdot r}, \tag{6}$$

$$D=\frac{V}{\pi\cdot n}. \tag{7}$$

§ 7. Условия однородности механических формул. При оперировании механическими формулами необходимо запомнить нижеследующие правила пользования этими формулами:

1) При именованных количествах всегда писать их наименования. Нельзя ограничиваться нахождением только числовых величин; только тогда имеется полное представление о величине, если при числовом ее значении стоит наименование.

Если мы говорим, что диаметр окружности равняется 2 *м*, то наименование (метры) указывает нам, что единицей длины при измерении был взят 1 *м*.

Тот же диаметр окружности при единице длины 1 *мм* будет иметь уже другое числовое значение, а именно 2 000 *мм*.

2) Если величина сложного наименования получилась:

а) путем умножения более простых величин, то эта величина выписывается как произведение наименований простых величин,

б) при делении одной простой величины на другую наименование новой величины выписывается в виде дроби

$$\left(\text{например: скорость} = \frac{\text{путь}}{\text{время}} \text{ в } \frac{м}{сек}\right).$$

3) При составлении наименования величин, полученных при подсчете, возможно, как условный прием, производить над наименованиями такие же действия, как и над числовыми значениями величин.

Проверим это на примере формулы скорости.

Точка прошла путь $S = 20$ *м* за время $t = 5$ сек.

Средняя скорость движения $V = S : t = 20$ *м* : 5 сек. = 4 *м/сек.*

Из формулы пути равномерного движения $S = V \cdot t$, зная, что $V = 4$ *м/сек* и $t = 5$ сек., можем определить $S = 4\ м/сек \cdot 5\ сек. = 20\frac{м/сек}{сек} = 20\ м.$

Умножение было произведено, как с числовыми величинами, так и с их наименованиями $\left(\frac{м/сек}{сек}\right)$; было произведено сокращени множителя *сек* и делителя *сек*, и в результате получена совершенно правильная размерность пути S в *м*

$$\left(м = \frac{м \cdot сек}{сек},\ \text{т. е. } м = м\right).$$

4) Раньше чем приступить к решению задачи, необходимо величины, данные в задаче, привести к выбранной системе единиц основных мер.

Например надо определить V *м/сек* шкива диаметром, равным 20 дюймам, при n числе об/мин=200; по формуле (2а) имеем

$$V = \frac{D \cdot n}{19{,}1}\ м/сек.$$

Подставляя в формулу наши величины, получаем

$$V\ м/сек = \frac{20\ \text{дюймов} \cdot n}{19{,}1}.$$

Неправильность решения очевидна, так как в размерность вошли различные единицы длины, и для получения результата, соответствующего действительности, необходимо величину диаметра D = 20 дюймов перевести в метры, зная, что 1 дюйм = 25 *мм*, D = 20 × 25 *мм* = 500 *мм* = 0,5 *м*, и уже эти величины подставить в формулу

$$V\ м/сек = \frac{0 \cdot 5 \cdot n}{0{,}5}.$$

Приведем еще пример:

$$V=1,2\ км/мин;$$

определить путь, проходимый за 20 секунд.

Формула пути равномерного движения будет:

$$S м = V\ м/сек \cdot t\ сек,$$

и решение этой задачи следующим образом

$$S=1,2\cdot 20=24\ м$$

совершенно непродуманно.

Найти, в чем ошибка, легко, проверив размерность полученного результата:

$$S=V\cdot t=\ \ ,км/мин\cdot 20\ сек=24\,\frac{км\cdot сек}{мин}.$$

Итак в состав размерности вошли различные единицы времени и пути.

Для правильного же разрешения этой задачи необходимо привести данные задачи к основным мерам выбранной технической системы мер в следующем порядке:

$$V=1,2\ км/мин=\frac{1200\ м}{60\ сек}=20\ м/сек$$

и уже эту величину подставить в формулу:

$$S=V\cdot t=20\ м/сек\cdot 20\ сек=400\ м.$$

Из этих примеров явствует:

а) необходимость, чтобы в обеих частях формулы были одинаковые наименования, и

б) что только однородные величины могут быть сравниваемы друг с другом.

Соблюдение всех указанных правил необходимо для получения правильных результатов технических подсчетов.

§ 8. Задачи и примеры. 1. С какой скоростью бежит верховая лошадь, если она в течение 32 минут проскакала 7 908 *м*?

Ответ. 4,15 *м/сек*.

2. Сколько километров может пробежать конькобежец в течение двух часов при скорости движения в 9 *м/сек*?

Ответ. 64,8 *км*.

3. Во сколько времени автомобиль пройдет пространство в 19 *км* 800 *м*, если будет двигаться со средней скоростью 22 *м/сек*?

Ответ. 15 мин.

4. Ураган, прошедший над данной местностью, через 2 часа бушевал в местности, отстоящей от первой в расстоянии 300 *км*. Определить скорость урагана.

Ответ. 41,6 *м/сек*.

5. Подъемник должен работать со скоростью 0,20 *м/сек*. Какое время необходимо, чтобы пройти расстояние между нижним и верхним этажами, если оно равно 8 *м*?

Решение.

$$t=\frac{S}{V}=\frac{8,0}{0,2}=40\ сек.$$

6. Какой путь пройдет поезд жел. дороги в 1 час, если скорость его равномерного движения равна 12 *м/сек*?

Ответ. 43,2 *км*.

7. Лошади тянут плуг со скоростью 30 *см/сек*. Какую поверхность поля выпашут они в течение 8 часов, если ширина пахоты 25 *см*?

Решение.

$$S=V\cdot t=30\cdot 60\cdot 60\cdot 8=864000\ см.$$

Умножив полученное число на ширину пахоты, 25 *см*, получим: $864000 \times 25 = 21600000\ см^2 = 2\,160\ м^2$.

8. Поплавок, спущенный в реку, проплывает в 5 минут 0,15 *км*. Найти скорость течения реки.

9. Звук проходит 340 *м/сек*. Через сколько времени после выстрела из орудия звук будет услышан наблюдателем, находящимся на расстоянии 1,7 *км*?

Решение.

$$S=1,7\ км=1700\ м.$$
$$V=340\ м/сек.$$
$$t=\frac{S}{V}=\frac{1700}{340}=5\ сек.$$

10. Маховое колесо паровой машины имеет диаметр $D = 3,75$ *м* и делает 120 об/мин. Определить окружную скорость.

Ответ. 23,55 *м/сек*.

11. Курьерский поезд проходит в час 45 *км*. Сколько оборотов делают в минуту колеса локомотива, радиус которых равен 1,2 *м*?

Ответ. 100.

12. Сколько километров в час пробегает вершина зубца круглой пилы диаметром 500 *мм*, делающая 1 800 об/мин?

Решение.

$$V=\frac{0,5\cdot 1800\cdot 3,14}{60}=47\ м/сек.$$

Путь, проходимый в час, $= 47\cdot 60\cdot 60 = 170$ *км*.

13. При каком числе оборотов должен произойти разрыв махового колеса диаметром 3 *м*, если оно рассчитано по запасу прочности так, что при скорости в 100 *м/сек* оно уже должно разорваться?

Решение.

$$V=\frac{\pi Dn}{60};\ 100=\frac{3\cdot 3,14\cdot n}{60};$$
$$n=\frac{100\cdot 60}{3\cdot 3,14}=\frac{6000}{9,42}=636\ \text{оборотам.}$$

14. Какую окружную скорость может выдержать наждачный круг для точки рамных пил, если на ярлыке указано, что безопасное число оборотов в минуту равняется 2 000 и диаметр его равен 300 *мм*?

Ответ. 31,4 *м/сек*.

СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И СКОРОСТИ ПОДАЧИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕРЕВА

§ 9. Об основных движениях при обработке дерева. Во всяком лесопильно-деревообделочном станке (за исключением токарных, лущильных и некоторых других станков) мы имеем два основных движения, а именно: 1) движение режущего орудия и 2) движение дерева.

Первое движение, совершаемое резцом, является главным или рабочим движением; соответствующая этому движению скорость называется скоростью резания или рабочей скоростью.

В целях получения гладкой поверхности и большей производительности при обработке дерева нужно давать большие скорости резания; поэтому почти на всех деревообделочных станках главное рабочее движения совершается режущим орудием и движение выбирается по возможности вращательное, с подачей материала на режущее орудие (круглые пилы, строгальные и фрезерные станки). Второе движение сообщается дереву, и скорость этого движения называется скоростью подачи.

В лесопильных рамах мы имеем наиболее невыгодный случай рабочего движения, а именно прямолинейно-возвратное, при котором имеют место толчки в результате действия сил масс движущихся взад и вперед частей.

Нижеследующие факторы: 1) скорость подачи, всегда значительно меньшая скорости резания, 2) небольшая масса режущего орудия, изготовленного из однородного материала, и 3) возможность его центрирования и точной установки в станке, в основном делают ясным то обстоятельство, что подача на движущиеся резцы совершается обрабатываемым деревом.

Действительно, в токарных и лущильных станках, применяемых в фанерном производстве, где главное рабочее движение совершается обрабатываемым предметом, мы в силу большой массы, неоднородности дерева и неуравновешенности не можем практически достигнуть наиболее выгодных больших скоростей.

Обыкновенно подача бывает прямолинейно-поступательная.

Приведем расчеты скоростей резания для различных станков лесопильно-деревообрабатывающих производств.

§ 10. Круглопильные станки. Рабочей скоростью круглой пилы — диска, снабженного по краям зубцами, закрепленного на вращающемся валу (рис. 1)—будет окружная скорость вершин зубцов; она будет равняться из известного нам уравнения

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}\ м/сек,$$

где n — число оборотов пильного вала в минуту, D — диаметр пильного диска в *м* и $n = \frac{60\,V}{\pi D}$, которое бывает в пределах от 500 до 3 300 в минуту.

Скорость резания цилиндрической пилы (рис. 2) (зубья расположены по краю круглого цилиндра) подсчитывается по вышеуказанной же формуле, где D — диаметр цилиндра в *м*.

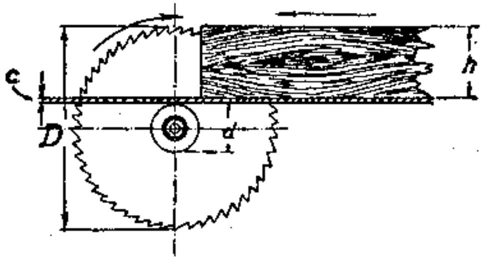


Рис. 1. Круглая пила.

§ 11. Ленточные пилы. Сущность работы ленточной пилы в кратких чертах состоит в следующем.

Тонкая бесконечная лента, снабженная по одному краю зубцами, одета с первоначальным натяжением на два шкива, лежащие в одной вертикальной плоскости. Один из шкивов, приведенный во вращение, приводит в движение, благодаря трению между лентой и ободом шкива, и самую ленту.

Скорость резания ленточной пилой подсчитывается по вышеуказанной общей формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot Dn}{60} \text{м/сек},$$

где D — диаметр шкивов в *м*, n — число оборотов шкивов в минуту.

§ 12. Вращающиеся резцы (орудия строгальных и фрезерных станков). Скорость резания определяется р а с с т о я н и е м р е ж у щ и х к р о м о к о т о с и в р а щ е н и я R (рис. 4) и числом оборотов n последней по формуле:

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot Rn}{60} = \frac{\pi \cdot Dn}{60} \text{м/сек}.$$

Число оборотов в целях получения больших скоростей резания, необходимых для чистой обработки и небольших размеров режущего диаметра D, должно быть от 4 000 до 2 000 в минуту, при совсем же малых диаметрах—еще больше (до 7000 об/мин).

Рис. 2. Цилиндрическая пила.

§ 13. Лесопильные рамы. Главное рабочее движение в лесопильной раме осуществляется при посредстве кривошипно-шатунного механизма (рис. 5.)

Сущность передачи движения кривошипно-шатунным механизмом состоит в следующем: при вращательном движении кривошипа OA ползун MN получает по направляющим, имеющим прямолинейное очертание, поступательное движение при посредстве шатуна AB, связанного шарнирами A и B с кривошипом и ползуном.

При направлении вращения кривошипа, показанного на чертеже стрелкой, ползун двигается направо из верхнего мертвого положения I в нижнее мертвое положение II, которое соответствует верхнему OA_1 и и нижнему OA_2 положениям кривошипа. На протяжении второй половины оборота кривошипа из OA_2 в OA_1 ползун совершает обратный ход снизу вверх — из положения II в положение I.

Как видно из чертежа, отрезок $I—II$, представляющий длину хода ползуна, равняется отрезку A_1A_2, т. е. двойной длине кривошипа.

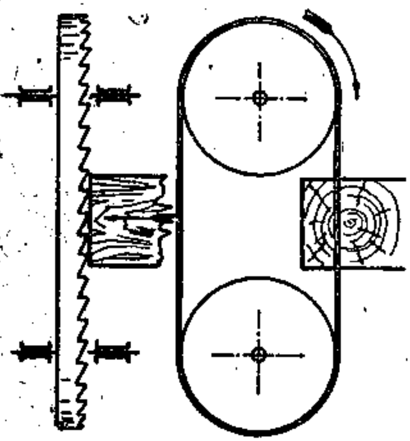


Рис. 3. Ленточная пила.

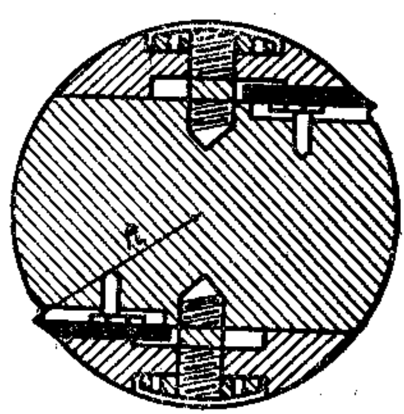


Рис. 4. Ножевой вал.

Итак, *кривошипно-шатунный механизм преобразует вращательное движение в возвратно-поступательное и обратно. Ход ползуна равен удвоенной длине кривошипа.*

Обозначив длину хода ползуна буквой H, длину кривошипа H, получим $H = 2R$.

Переходя к движению пильной рамы с натянутыми пильными полотенцами, мы из рис. 6 видим, что, когда палец дискового кривошипа A находится в верхней мертвой точке, палец пильной рамы будет в мертвом положении $I—I$.

Палец кривошипа, совершая круговое движение за первую половину оборота вала рамы, переходит последовательно из верхнего мертвого положения в нижнее; при этом связанная с ним шатуном пильная рама опускается.

За вторую половину оборота вала рамы палец кривошипа перемещается из нижнего мертвого положения в верхнее, при этом пильная рама поднимается.

Таким образом за один оборот вала подвижная рама делает два хода и проходит путь, равный $2H$ (длина хода рамы, обозначаемая буквой H, как мы уже видели, есть путь, который совершают рама и каждая ее деталь от верхней точки до нижней).

Мы знаем, что средней скоростью движения называется отношение пути к соответствующему промежутку времени или

$$v = \frac{S}{\ },$$

В данном случае путь, проходимый за одну минуту, будет равен произведению пути, проходимого за один оборот ($2H$), на число оборотов вала в минуту n, и средняя скорость рамы, а следовательно и средняя скорость резания, приведенная к секунде, будет

$$V_{ср}=\frac{2\cdot H\cdot n}{60}=\frac{H\cdot n}{30}\,м/сек. \tag{8}$$

В рассмотренном случае ведущим звеном является кривошип.

Очень часто в практике заводской работы требуется установить число оборотов вала рамы n по данным ходу рамы H в $м$ и средней скорости резания V $м/сек$.

В этом случае пользуются нижеследующей формулой, полученной из формулы (8)

$$n=\frac{30\cdot V_{ср}}{H} \tag{8а}$$

И наконец для определения, по известным средним скоростям резания и числу оборотов вала рамы в минуту, длины хода рамы в $м$ служит формула:

$$H=\frac{30\cdot V_{ср}}{n} \tag{8б}$$

О быстроходности лесопильных рам нельзя судить **т о л ь к о п о**

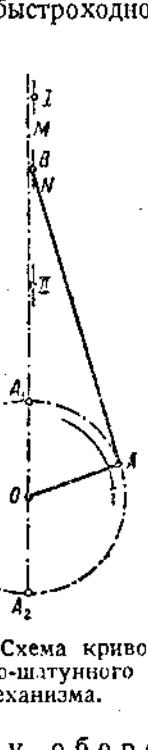


Рис. 5. Схема кривошипно-шатунного механизма.

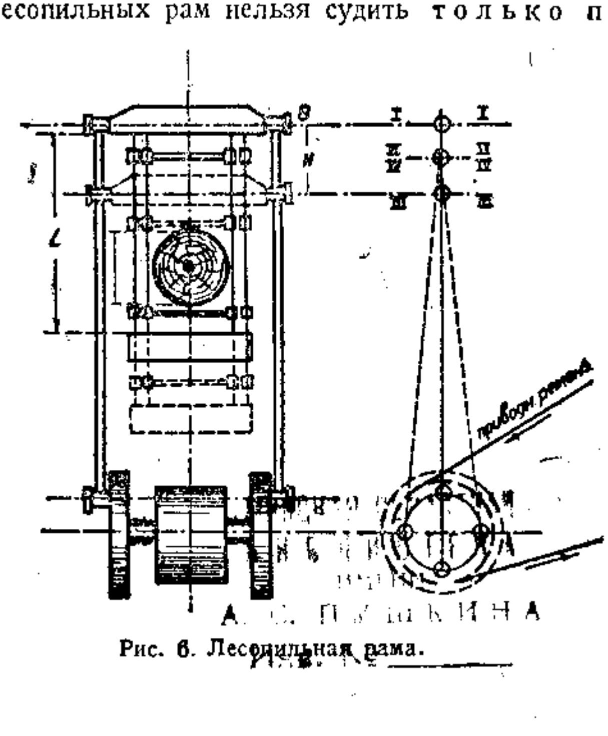


Рис. 6. Лесопильная рама.

ч и с л у о б о р о т о в р а м ы в минуту, так как в формулу средней скорости резания входит вторая величина — длина хода рамы.

Так, например средняя скорость резания у рамы, делающей 290 об/мин с длиной хода 0,5 будет больше, чем у рамы, делающей 350 об/мин, с длиной хода 0,37 м.

Проверим указанные расчеты.

Средние скорости:

первой рамы:

$$V_{ср}=\frac{H \cdot n}{30}=\frac{0,5 \cdot 290}{30}=4,83 \text{ м/сек},$$

второй рамы:

$$V_{ср}=\frac{0,37 \cdot 350}{30}=4,32 \text{ м/сек}.$$

Останавливаясь на определенной средней скорости резания, можно ее достигнуть соответствующим выбором длины хода рамы и числа оборотов рамы в минуту.

Германские фирмы, за некоторым исключением (за последнее время новейшие модели фирм Гофман и Флек имеют длину хода 500—600 *мм* и число об/мин 300—325), тяжелые рамы строили с длиной хода рамы до 650 *мм* и умеренным числом оборотов до 275 в минуту.

Лесопильные рамы скандинавских стран имеют стандартную длину хода рамы в 500 *мм* и рамы шириной просвета 500—600 *мм* делают до 350 об/мин.

В заключение в табл. 3 на стр. 19 приводим данные о лесопильных рамах, выпускаемых наиболее известными иностранными фирмами.

§ 14. Номограмма I для расчета окружных скоростей. Для быстрого решения задач, относящихся к окружным скоростям, может служить номограмма, по которой можно с достаточной точностью разрешать без математических расчетов задачи по определению числа оборотов, диаметров и окружных скоростей.

Способ пользования графиком легко уясняется на нижеприводимых примерах.

Пример 1. Требуется определить окружную скорость круглой пилы, делающей 1 750 об/мин и имеющей диаметр в 55 *см*.

Через деление 55 масштаба диаметров проводим вертикальную линию до пересечения с кривой и через деление 1 750 масштаба чисел обортов та же проводим вертикальную линию до пересечения с кривой. Затем указанные точки кривой соединяем прямой линией. Точка пересечения этой прямой линии с масштабом окружных скоростей дает искомое решение: окружная скорость круглой пилы равняется 50 *м/сек*.

Пример 2. Требуется определить число оборотов круглой пилы диаметром 850 *мм*, имеющей окружную скорость в 45 *м/сек*.

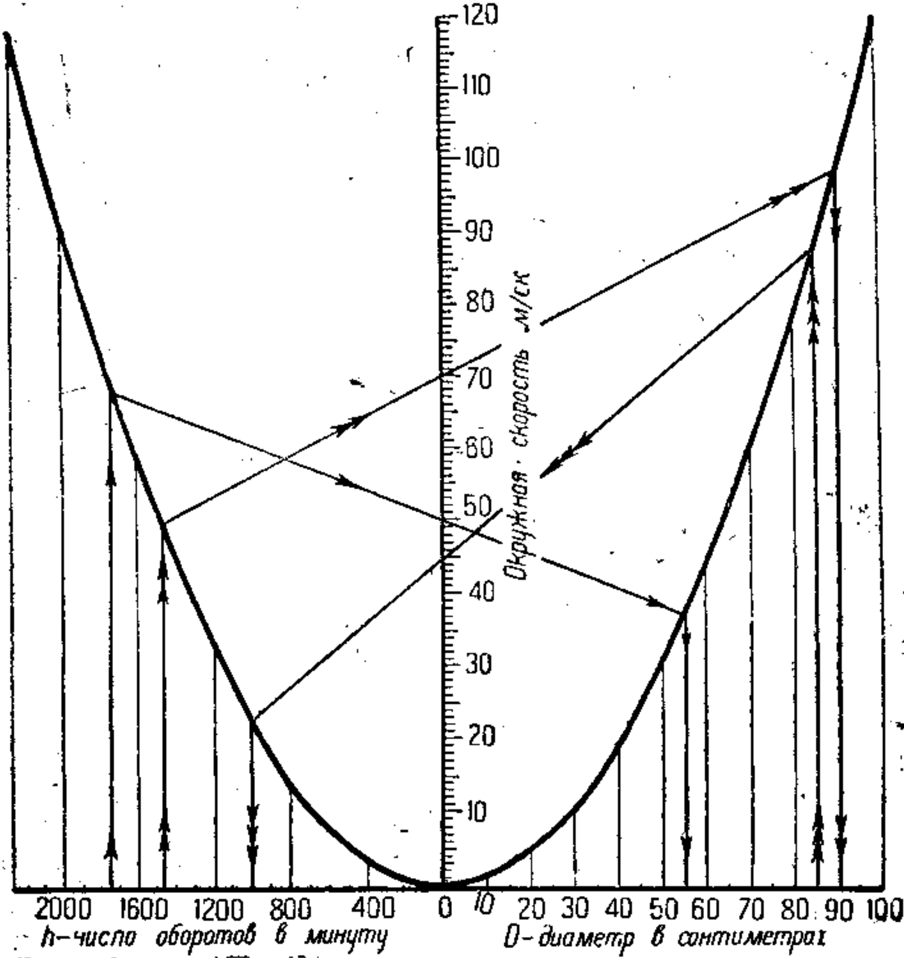
Через деление 850 масштаба диаметров проводим вертикальную линию до пересечения с кривой. Эту точку пересечения соединяем с делением 45 масштаба окружных скоростей и продолжаем эту прямую до пересечения со второй ветвью кривой и затем из этой точки пересечения проводим вертикальную линию вниз. Эта линия пересечет масштаб числа оборотов в делении 1 000. Следовательно искомый результат, число оборотов в минуту, равен 1 000.

Пример 3. Требуется определить диаметр круглой пилы, делающей 1 475 об/мин и имеющей оружную скорость резания 70 *м/сек*.

Через деление 1 475 масштаба чисел оборотов проводим вертикальную линию до пересечения с кривой. Эту точку пересечения соединяем

Страна и фирма	Характеристика рамы	Просвет в *мм*	Длина хода в *мм* H	Число об/мин n	Средняя скорость резания $V_{ср}$
Германия Кирхнер	Двухшатунная с толчковой подачей „Гигант" *QLC*	450	430	280	4,00
		550	450	260	3,90
		650	480	240	3,84
		750	530	220	3,87
		900	600	190	3,89
		1 100	750	160	4,00
Германия Гофман	Двухэтажная, двухшатунная, с толчковой подачей тип *HVn*	650	500	280—300	4,66—5,00
		800	500	270—285	4,50—4,75
		800	600	250—270	5,00—5,40
	Двухэтажная, одношатунная с непрерывной подачей	550	500	320—350	5,35—5,45
		650	500	300—330	5,00—5,50
		750	600	270—300	5,40—6,00
		850	600	250—275	5,00—5,50
Швеция Болиндерс	Двухэтажная, одношатунная с непрерывной подачей типа „Стандарт"	500	508	350	5,90
		600	508	325	5,50
		750	508	290	4,90
		830	508	275	4,65
Шведские Машинверке	Двухэтажная, одношатунная с непрерывной подачей типа „Универсаль"	550	500	360	6,00
		650	500	345	5,75
		750	500	320	5,35
		850	500	300	5,00
Норвегия Иенсен и Даль	Двухэтажная, одношатунная с непрерывной подачей типа „Рекорд"	550	500	350	5,85
		650	500	335	5,55
		750	500	315	5,25
		850	500	300	5,00
Америка Даймонт		1 117	508	250	4,23
		1 219	508	250	4,23
		1 320	508	250	4,23
		1 524	508	250	4,23
		1 066	406	260	3,52
		[illegible]	406	260	3,52

пересечения со второй ветвью кривой и затем из этой точки пересечения проводим вертикальную линию вниз. Линия эта пересечет масштаб диаметров в делении 90. Следовательно искомый результат, деленный на диаметр пилы, равняется 90 *см.*



Номограмма I.

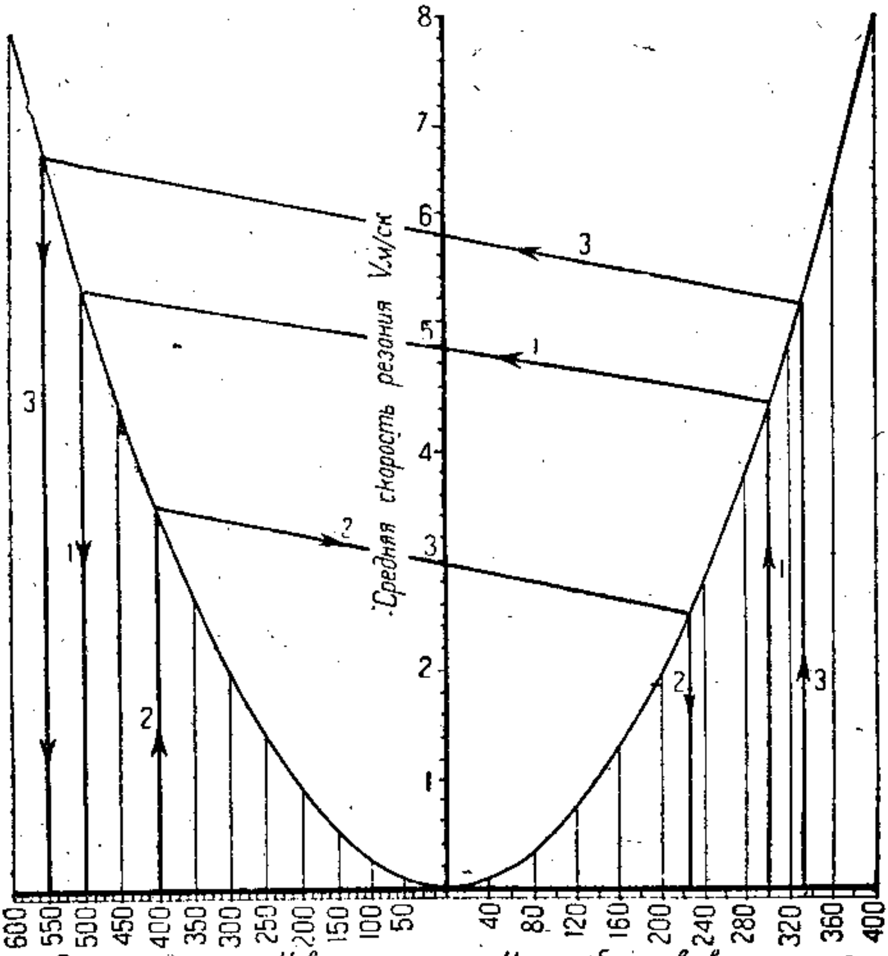
§ 15. Номограмма II средней скорости резания лесопильных рам. Для быстрого решения задач, относящихся к средней скорости резания лесопильной рамы, может служить номограмма II, на которой графически представлены знакомые нам уравнения

$$V_{cp} = \frac{2 \cdot H \cdot n}{60}$$

Способ пользования графиком следующий.

Задача № 1. Требуется найти среднюю скорость резания лесопильной рамы, делающей 300 об/мин и имеющей длину хода в 500 *м.*

Через деление 300 масштаба чисел оборотов проводим вертикаль до пересечения с параболой и через деление 500 масштаба длин ходов рамы также проводим вертикаль до пересечения с параболой. Затем указанные точки параболы соединяем прямой линией. Точка пересечения этой пря-



Номограмма II.

мой линии с масштабом средних скоростей резания дает искомое решение:

$$V = 5 \text{ м/сек}.$$

Задача № 2. Найти число оборотов вала рамы, у которой средняя скорость резания $V = 3$ *м/сек* и длина хода $H = 400$ *мм*.

Через деление 400 масштаба длины хода рамы проводим вертикаль до пересечения с параболой, точку пересечения соединяем с делением 3 масштаба средних скоростей резания и продолжаем эту прямую до пересекаль, которая пересечет масштаб числа оборотов в делении 225. Следовательно искомый результат: число оборотов $n = 225$.

З а д а ч а № 3. Найти длину хода лесопильной рамы, число оборотов вала рамы которой равняется 330 в мин. и средняя скорость резания $V = 6{,}05$ *м/сек.*

Через деление 330 масштаба чисел оборотов n проводим вертикаль до пересечения с параболой, точку пересечения соединяем с делением 6,05 масштаба средних скоростей резания и продолжаем эту прямую до пересечения с параболой. Затем через эту точку пересечения проводим вертикаль, которая пересечет масштаб длин ходов H в делении 550.

Следовательно искомый результат: $H = 550$ *мм.*

§ 16. Скорость подачи. При подаче обрабатываемого дерева (доски, бревна) с помощью подающих вальцов, как показано на рис. 7 и 8, скорость подачи, обозначаемая буквой U, может быть выражена следующей формулой:

$$U=\frac{\pi\cdot D\cdot n}{60}\ м/сек \text{ и } U=\pi\cdot D\cdot n\ м/мин\ , \tag{9}$$

где D — диаметр подающего вальца в *м*, n — число оборотов вальца в минуту.

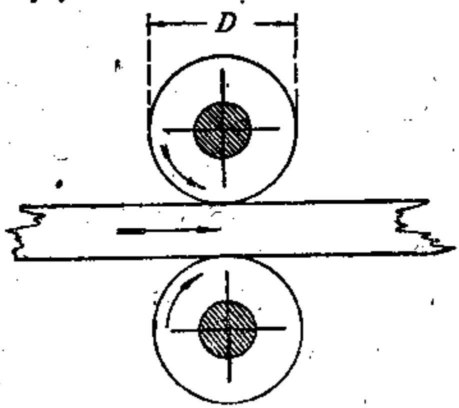


Рис. 7. Подающие вальцы.

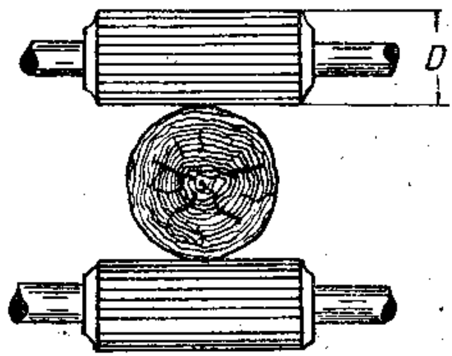


Рис. 8. Подающие вальцы лесопильной рамы.

Для определения величин n и D при известных скоростях подачи можно пользоваться общими формулами скоростей.

В данном расчете не принято во внимание скольжение дерева в вальцах.

Скорость подачи легко определить опытным путем, а именно определением времени прохождения обрабатываемого дерева через резцы.

Зная длину обрабатываемого материала L в *м* и время его прохождения через резцы t в минутах, получим среднюю скорость подачи делением пройденного пути на время, или

$$U=\frac{L}{t}\ м/мин. \tag{10}$$

Зная U и L, возможно из последней формулы определить t:

$$t=L м : U\ м/мин = \frac{L}{U}\ мин. \tag{10a}$$

В лесопильной раме при всех подсчетах приходится пользоваться величиной подачи за один оборот вала рамы, обозначаемой буквой Δ (дэльта).

Скорость подачи U выражает длину бревна в метрах, прошедшего через пилы в минуту, и при n — числе оборотов вала рамы в минуту является произведением Δ на n, или

$$U=\Delta \cdot n \text{ м/мин.} \tag{11}$$

Из последней формулы имеем:

$$\Delta=\frac{U}{n} \text{ м}, \ \Delta=\frac{U \cdot 1\,000}{n} \text{ мм.} \tag{11a}$$

Δ выражается в мерах длины: в метрах и чаще всего в *мм*.

§ 17. Примеры и задачи. 15. Сколько оборотов нужно дать пильному валу цилиндрической пилы, имеющей диаметр 450 *мм*, если желательно достигнуть скорости резания 28 *м/сек*?

Ответ. 1 200.

16. Чему равняется скорость резания ленточной пилы, если известно, что диаметр шкива, по которому ходит лента $D_1 = 1\,000$ *мм* и он делает 500 об/мин?

Решение.

$$V=\frac{\pi D n}{60}=\frac{1 \cdot 3{,}14 \cdot 500}{60}=26{,}2 \text{ м/сек.}$$

17. Чему равняется средняя скорость резания лесопильной рамы, длина хода которой $H = 500$ *мм* при числе оборотов $n = 300$.

Решение.

$$V=\frac{2 \cdot Hn}{60}=\frac{2 \cdot 0{,}5 \cdot 300}{60}=5 \text{ м/сек.}$$

18. Сколько оборотов должна делать лесопильная рама при $V = 4{,}83$ *м/сек* и длине хода рамы $H = 20''$?

Ответ: $n = 290$.

19. Определить отношение между окружной скоростью пальца кривошипа V_k лесопильной рамы при радиусе кривошипа $R = 0{,}25$ *м* и средней скорости резания $V_{ср}$ этой же рамы, делающей 300 об/мин.

Решение.

$$1) \ V_k=\frac{2\pi R n}{60}=\frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}25 \cdot 300}{60}=7{,}85 \text{ м/сек,}$$

$$2) \ V_c=\frac{2Hn}{60}=\frac{2 \cdot 0{,}5 \cdot 300}{60}=5 \text{ м/сек,}$$

$$3) \ \frac{V_k}{V_c}=\frac{7{,}85}{5}=1{,}57.$$

20. Как велика средняя скорость поршня паровой машины, если он в минуту делает 40 двойных колебаний по 0,95 *м* каждое.

Решение.

$$S=0{,}95 \cdot 2 \cdot 40=76 \text{ м,}$$

$$t=1 \text{ мин.}=60 \text{ сек.}$$

$$V=\frac{76}{60}=\frac{19}{15}=1\frac{4}{15} \text{ м/сек.}$$

... делает $n = 300$ об/мин, ход рамы 500 *мм*

21. Определить, во сколько раз рабочая скорость круглой пилы больше средней рабочей скорости лесопильной рамы, если известно, что D (диаметр круглой пилы) $= 0,5$ *м*, $n_п$=число оборотов 2 000 в минуту, ход рамы $= 0,5$ м. и число оборотов рамы $n_p = 300$.

Решение.

1) Круглая пила $V_1 = \frac{\pi D n_п}{60}$,

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 0,5 \cdot 2000}{60} = 52,33 \text{ м/сек.}$$

2) Лесопильная рама $V_2 = \frac{2H \cdot n_p}{60}$

$$V_2 = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 300}{60} = 5 \text{ м/сек.}$$

3) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{52,33}{5} = 10,46.$

22. Лесопильная рама делает 300 об/мин, скорость подачи бревна $U = 2$ *м/мин*.

Определить Δ — величину подачи за один оборот вала рамы.

Решение.

$$\Delta = \frac{U}{n} = \frac{2000}{300} = 6,6 \text{ мм.}$$

23.* n — число об/мин подающего вальца лесопильной рамы диаметром $D = 250$ *м* — равно 3.

Определить Δ — величину подачи за один оборот вала рамы, если известно, что рама делает 290 об/мин.

Решение. Скорость по окружности подающего вальца

$$U = \pi \cdot D \cdot n = 3,14 \cdot 0,25 \cdot 3 = 2,35 \text{ м/мин.}$$

$$\Delta = \frac{U}{n} = \frac{2,35}{290} = 8,1 \text{ мм.}$$

24. Успеет ли бревенной транспортер, имеющий скорость 0,25 *м/сек*, снабдить бревнами лесопильную раму, делающую 300 об/мин, при подаче за 1 оборот вала рамы $\Delta = 20$ *м*.

Решение. U — скорость подачи в раме в минуту $= 300 \cdot 20 =$ $= 6000$ *мм/мин* $= 6$ *м/мин*$=0,1$ *м/сек.*

Скорость транспортера в $\frac{0,25}{0,1} = 2,5$ раза больше скорости подачи

лесопильной рамы, и поэтому с работой по снабжению рамы бревнами вполне справится.

25.* Время прохождения через строгальный станок доски длиной, равной 6,4 *м*, равно 30 сек.; определить число оборотов n подающего вальца в минуту, если D (диаметр вальца) равен 250 *мм*.

* При решении задач, отмеченных звездочкой, не приняты во внимание и не выделены скольжение в вальцах и задержка в подаче.

Решение.

$$U \text{ — скорость подачи } \frac{6,4}{0,5}=12,8 \text{ м/мин.}$$

$$U \text{ — скорость по окружности вальца } \pi Dn \text{ м/мин.}$$

$$12,8=3,14\cdot 0,27\ n;\ n=\frac{12,8}{3,14\cdot 0,27}=16 \text{ оборотам.}$$

Сколько времени будет проходить доска такой же длины, если известно, что валец диаметром 150 *мм* делает 20 об/мин? Скорость по окружности вальца

$$U=\pi\cdot D\cdot n=\frac{3,14\cdot 0,15\cdot 20}{60}=0,157 \text{ м/сек.}$$

$$U=0,157=\frac{S}{t};\qquad t=\frac{6,4}{0,157}=40 \text{ сек.}$$

Пройденный путь S равняется длине доски.

26.* Предельная максимальная Δ— подача за один оборот вала лесопильной рамы при $n_p = 290$ равняется 30 *мм*. D — диаметр подающего вальца рамы = 250 *мм*.

Определить число оборотов $n_в$ подающего вальца в минуту.

Решение.

$$U=n_p\Delta=290\cdot 30=8,7 \text{ м/мин.}$$

$$U=\pi Dn_в;\ 8,7=3,14\cdot 0,25.\ n_в;\ n_в=\frac{8,7}{3,14\cdot 0,25}=11.$$

27. Число оборотов n колес вагонетки в минуту, передвигающейся вручную по рельсовому пути, при холостом ходе равняется 35; D (диаметр колеса) = 380 *мм*; t (время на движение нагруженной вагонетки) составляет 13% от общего времени на весь процесс, в который входит: 1) нагрузка на вагонетку материала, 2) отвозка, 3) разгрузка материала, 4) обратный ход (холостой) разгруженной вагонетки, равный 41 мин.

Определить, во сколько раз скорость при холостом ходе больше скорости движения нагруженной вагонетки, если известно, что последняя проходит путь, равный 150 *м*.

Решение. 1) Холостой ход.

$$V \text{ (скорость движения вагонетки)}=\frac{\pi Dn}{60} \text{ м/сек}=\frac{3,14\cdot 0,380\cdot 3,5}{60}=0,7 \text{ м/сек.}$$

2) Рабочий ход.

Время на рабочий ход равно $0,13\cdot 41=5,33$ мин.$=5$ мин. 20 сек.

$$V_p=\frac{S}{t}=\frac{150}{320}=0,47 \text{ м/сек.}$$

Скорость движения вхолостую больше в $\frac{0,7}{0,47}=1,5$ раза.

28. К двум строгальным станкам со скоростью подачи 9,6 *м/мин* подаются для обработки вручную на рельсовой вагонетке доски длиной 6,4 *м*.

Известно, что 20% времени общего процесса, состоящего из процессов, указанных в задаче 27, подачи одной вагонетки, вмещающей 100 шт.

досок длиной 6,4 *м*, равного 30 мин., составляет время движения нагруженной вагонетки; скорость движения последней равняется 0,5 *м/сек.*

Определить, на каком расстоянии от станков расположен материал и справится ли с работой одна вагонетка.

Решение. 1) Станок в течение 30 мин. пропускает досок длиною 6,4 *м* в штуках $\frac{2\cdot 9{,}6\cdot 30}{6{,}4}=90.$

Одна вагонетка выполнит работу, так как 1 вагонетка подает за 30 мин. 100 шт. досок.

2) Материал расположен на расстоянии

$$S=V\cdot t=0{,}5\cdot 360=180 \text{ м},$$
$$t=0{,}2\cdot 30\cdot 60=360 \text{ сек.}$$

29. Сколько рабочих занято на подаче бревен к лесопильной раме, делающей n — 290 об/мин при величине подачи за 1 оборот вала рамы Δ 12 *мм*.

На 1 вагонетке, обслуживаемой двумя лицами, подается 7 бревен; скорость движения нагруженной вагонетки равняется 20 *м/мин*, и путь, проходимый вагонеткой, равен 160 *м*, длина бревна = 6,4 *м*.

Время движения нагруженной вагонетки составит 20% от общего процесса подачи бревен, состоящих из элементов, указанных в предыдущей задаче.

Решение. 1) Скорость подачи в раме $U=\Delta\cdot n=290\cdot 0{,}012=3{,}5$ *м/мин*.
Время, уходящее на распиловку 7 бревен, равняется

$$\frac{7\cdot 6{,}4}{3{,}5}=13 \text{ мин.}$$

2) Время движения нагруженной вагонетки $t=\frac{S}{V}=\frac{160}{20}=8$ мин.; на весь процесс подачи уходит $\frac{8}{0{,}20}=40$ мин.

3) За 40 мин. рама распиливает $\frac{7\cdot 40}{13}\approx 21$ бревно; на одной вагонетке подается 7 бревен, следовательно на подаче к раме должны работать три вагонетки, по два рабочих на каждой вагонетке — шесть рабочих.

30. На двух лесопильных рамах, имеющих одинаковую среднюю скорость резания, равную 4,5 *м/сек*, распиливаются бревна длиной 6,4 *м*.

Определить величину подачи за 1 оборот вала каждой рамы, если известно, что время прохождения через рамы указанных бревен одинаково и равно 2,5 мин., длина ходов 1-й рамы равняется 0,5 *м*, 2-й рамы — 0,45 *м*.

Решение. 1-я рама:

1) $$V_1=\frac{2H_1\cdot n_1}{60};\ 4{,}5\cdot 60=2\cdot 0{,}5\cdot n_1;\ n_1=4{,}5\cdot 60=270,$$

2) скорость подачи

$$U_1=\frac{6{,}5}{2{,}5}=2{,}6 \text{ м/мин},$$

3) $$\Delta_1=\frac{U_1}{n_1}=\frac{2600}{270}=9,6 \text{ мм}.$$

2-я рама:

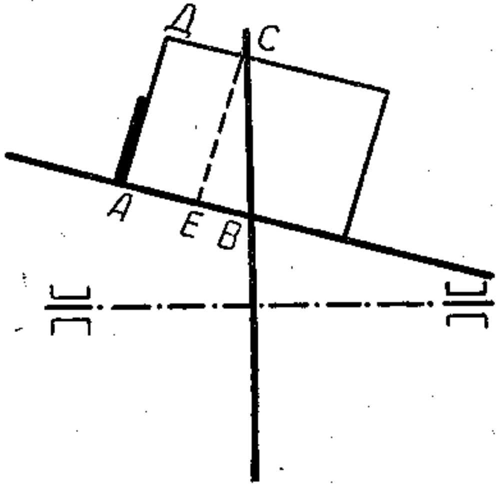
1) $$V_2=\frac{2\cdot H_2\cdot n_2}{60};\ 4,5\cdot 60=2\cdot 0,45\cdot n_2;\ n_2=\frac{4,5\cdot 60}{0,9}=300.$$

2) По условию задачи скорости подачи в обеих рамах одинаковы: $U_1=U_2=2,6$ *м/мин*.

3) $$\Delta_2=\frac{U_2}{n_2}=\frac{2600}{300}=8,7 \text{ мм}.$$

31. На круглопильном станке с наклоненным столом из бруса прямоугольного сечения выпилено два бруска трапецидального сечения с размерами $a=50$ *мм* и $в=90$ *мм* и площадью сечения $F=10\,500$ *мм* ^{2} (рис. 9).

Определить размеры бруса и скорость подачи, если известно, что произведение высоты пропила h на скорость подачи U *м/мин* — $h\cdot U=1,55$ *м²/мин*.



К зад.. 9

Решение. 1) Определение высоты пропила:

площадь трапеции $ABCD=\dfrac{(AB+CD)\cdot EC}{2}$.

Подставляя в формулу данные числовые величины, получим

$$10500=\left(\frac{90+50}{2}\right)EC;\ EC=\frac{10500}{70}=150 \text{ мм}.$$

2) Из прямоугольного треугольника определяем BC. Квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов или

$$BC^2=EC^2+EB^2=EC^2+(AB-DC)^2=150^2+(90-50)^2=$$
$$=22500+1600=24100,$$

откуда

$$BC=\sqrt{24100}=155 \text{ мм или } BC=h=155 \text{ мм}.$$

3) Скорость подачи U можно определить из выражения: $hU=1,55$ *м²/мин* путем подстановки $h=0,155$ *м* или $0,155\,h=1,55$, откуда

$$U=\frac{1,55}{0,155}=10 \text{ м/мин}.$$

§ 18. Соотношение между скоростями резания и подачи. Установление выгодных скоростей резания и подачи является одним из основных моментов, обусловливающих нормальную и производительную работу станков.

Небольшие скорости резания понижают пропускную способность станка, так как при них в работе участвует меньшее количество резцов, и нагрузка, падающая на один резец, резко увеличивается.

Установление чрезмерно больших скоростей резания может вызвать перегрузку и неправильную работу отдельных деталей и всего станка, а иногда поломки и разрывы режущих орудий. Должны быть сохранены правильные соотношения между скоростью подачи и скоростью резания, обусловливающие величину нагрузок, испытываемых отдельными резцами.

Ниже нами приводятся основные расчеты соотношений скоростей подачи и резания для отдельных основных типов станков.

Круглые пилы. Из предыдущего мы знаем, что скорость резания

$$V=\pi\cdot D\cdot n \ м/мин.$$

Но длина окружности пильного диска $C=\pi\cdot D$ может быть представлена как произведение шага зуба t в *мм*, — расстояния между вершинами двух соседних зубьев (рис. 10) на число зубьев пилы; поэтому

$$\pi\cdot D=t\cdot z,$$

откуда

$$V=t\cdot z\cdot n \ м/мин.$$

Скорость подачи U *м/мин* может быть представлена в следующем виде: длина распиливаемого дерева в минуту является произведением из

Рис. 10. Шаг зуба круглой пилы.

Рис. 11. Расплющенные зубья пилы.

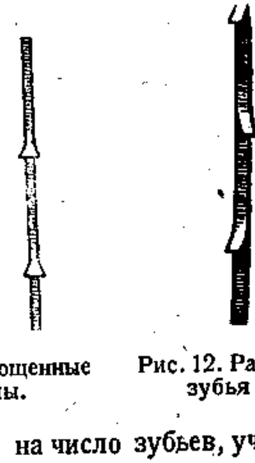


Рис. 12. Разведенные зубья пилы.

подачи на один зуб в *мм*$\cdot\delta$ на число зубьев, участвующих в работе в минуту — z_1, и поэтому

$$U=z_1\cdot\delta.$$

За один оборот пильного вала проходит z зубьев, а за минуту число работающих зубьев будет равно произведению zn, откуда имеем, что

$$z_1=z\cdot n,$$

и окончательно

$$\boxed{U=\delta\cdot z\cdot n} \qquad (12)$$

Беря соотношение между скоростями резания V и подачи, получим, подставляя выражения формул,

$$\frac{V}{U}=\frac{t\cdot z\cdot n}{\delta\cdot z\cdot n}.$$

Произведя сокращение на $z \cdot n$, получим формулу, характеризующую соотношение между V и U, в следующем виде:

$$\boxed{\frac{V}{U} = \frac{t}{\delta}} \qquad (13)$$

откуда подача на один зуб

$$\delta = \frac{U}{V} \cdot t. \qquad (13а)$$

Следовательно подача на один зуб при постоянном шаге зуба увеличивается с увеличением скорости подачи, и нагрузка, падающая на 1 зуб, с увеличением скорости резания уменьшается.

Все указанные выводы правильны для пил с неразведенными зубьями, в частности для расклепанных зубьев (рис. 11).

При разведенных зубьях, когда зубья отгибаются через один то на левую, то на правую сторону (рис. 12), имеем, что все нечетные зубья, отогнутые в одну сторону, образуют одну плоскость, а все четные зубья, отклоненные в другую сторону — вторую плоскость пропила; поэтому в данном случае пара соседних зубьев пил работает, как один зуб, и вышеприведенные формулы принимают следующий вид:

$$\frac{V}{U} = \frac{2t}{\delta} \qquad (14)$$

$$\delta = \frac{U}{V} \cdot 2t \qquad (14а)$$

Итак, мы видим, что в результате определенных соотношений между скоростями резания и подачи получается новая, очень важная величина — подача на один зуб или толщина стружки, которая характеризует нагрузку, испытываемую круглыми пилами при распиловке и тем самым допускаемые наибольшие скорости подачи.

Ясно, что для выполнения условий прочности зубьев нужно, чтобы сила, возрастающая с утолщением стружки, не могла согнуть и разрушить зубья пил.

У круглых пил для достаточной прочности зубьев пилы необходимо сохранить определенные соотношения между толщиной пильного диска и величиной δ (толщиной стружки), а именно: δ для мягкого и свежего дерева должна быть не больше толщины пильного диска и для твердого и сухого не больше 0,6 толщины пилы.

Вращающиеся резцы строгальных и фрезерных станков. При строжке качество продукции в большей мере обусловливается чистотой остругиваемой поверхности; чистота обработки измеряется длиной волн, остающихся на обрабатываемой поверхности.

Каждый рез при строжке дает волну, и длина этой волны, обусловливающая чистоту обработки, зависит от величин скоростей резания, подачи и числа резцов.

Поэтому в строгальных и фрезерных станках правильное соотношение между скоростью резания и скоростью подачи имеет первостепенное значение.

Условимся длину волн или подачу на один рез называть чистотой обработки; обозначим эту величину буквой δ и посмотрим, как эта величина влияет на производительность станка.

Разберем пример, на котором станет ясной зависимость между указанными величинами.

Какова скорость подачи U в *м/мин* строгального станка, у которого ножевые валы делают $n = 2\,500$ об/мин и число резцов $z = 2$, если необходимо, чтобы чистота обработки не была более 1 *мм*.

Число резцов, участвующих в работе в минуту, равно произведению числа резцов z на число оборотов n; в данном случае $2 \cdot 2500 = 5000$.

Следовательно в минуту мы имеем $z \cdot n = 5000$ резцов; так как чистота обработки или подача на один рез $\delta = 1$ *мм*, то в минуту подача U будет равна произведению числа резов $z \cdot n$ на δ; в данном случае

$$U = z \cdot n \cdot \delta = 5000 \cdot 1 = 5000 \text{ мм} = 5 \text{ м/мин}.$$

Мы получили, что скорость подачи U равняется

$$U = \delta \cdot z \cdot n \text{ мм/мин},$$

$$U = \frac{\delta \cdot z \cdot n}{1000} \text{ м/мин}. \tag{15}$$

Из этих формул получаем, что чистота обработки или подача на один рез при U *м/мин* равняется

$$\delta = \frac{1000 \cdot U}{z \cdot n} \tag{15a}$$

Итак, мы можем заключить, что чистота обработки (длина волн) принимает невыгодные значения при увеличении скорости подачи; а с увеличением числа резцов и числа оборотов ножевых валов длина волн δ уменьшается, и поэтому может быть получена вполне гладкая и чисто остроганная поверхность.

На номограмме III представлен графический расчет чистоты обработки от V — скорости резания, D — диаметра двойного расстояния режущих кромок от оси вращения, n — числа оборотов ножевого вала в минуту, U — скорости подачи в *м/мин* и z — числа резцов.

Для ускорения и облегчения расчетов по этому графику в зависимости от данных величин возможно определить любую необходимую величину.

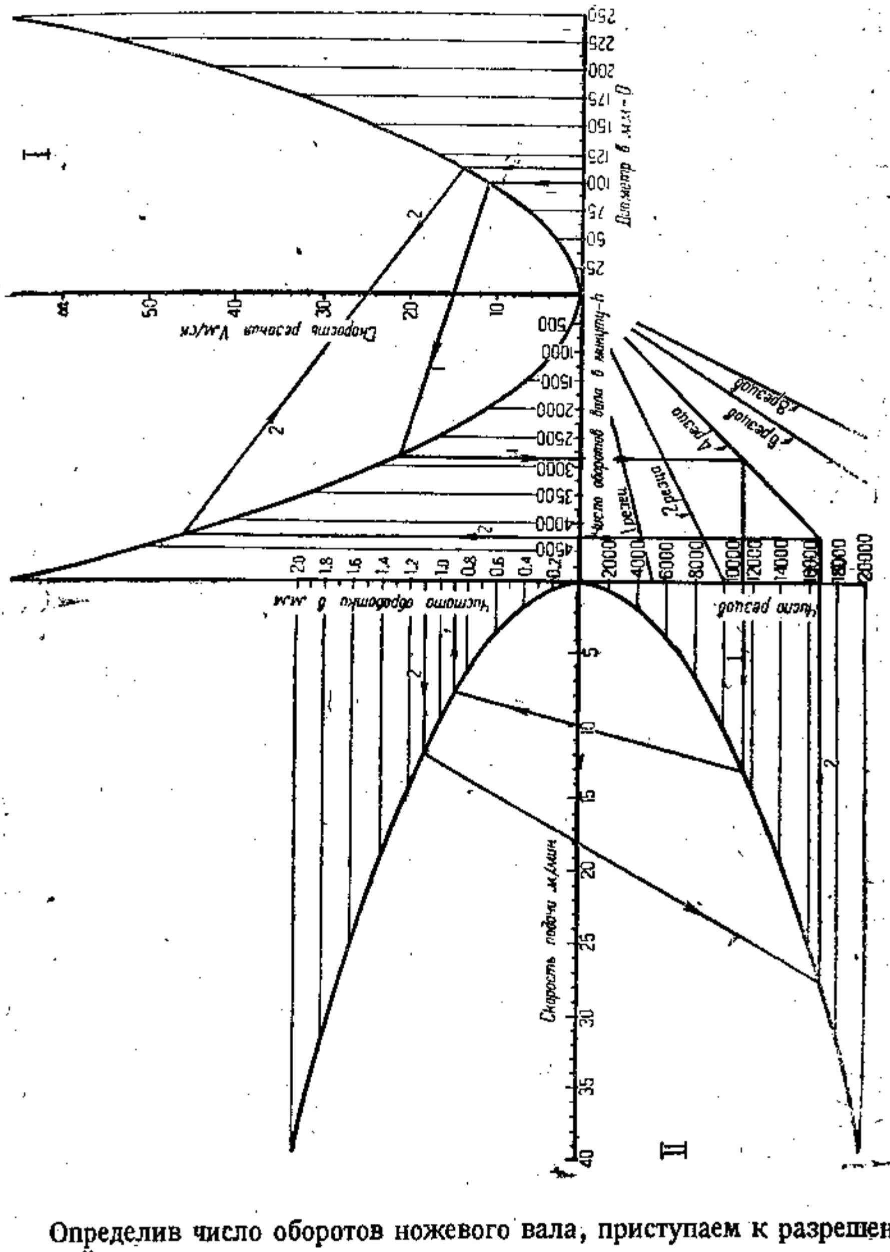
Пользование номограммой не представляет затруднений и может быть усвоено на следующих примерах.

Пример 1. Определить чистоту обработки при следующих данных: скорость резания — 15 *м/сек*, диаметр — 100 *мм*, скорость подачи — 10 *м/мин* и число резцов — 4.

Через деление 100 масштаба диаметров проводим вертикальную линию до пересечения с правой ветвью кривой *I*.

Точку пересечения соединяем прямой с делением 15 *м/сек* масштаба скоростей резания и продолжаем эту прямую до пересечения с левой ветвью кривой и затем через эту точку пересечения опускаем вниз вертикаль, которая пересечет масштаб чисел оборотов в делении — 2 900.

Следовательно число оборотов вала в минуту равняется 2 900.



Номограмма III.

Определив число оборотов ножевого вала, приступаем к разрешению второй части задачи.

Из найденной точки деления 2 900 опускаем вертикаль до пересечения с лучом, соответствующим 4 резцам; через точку пересечения проводим горизонтальную линию до пересечения с нижней ветвью кривой II.

эту точку соединяем прямой линией со значением 10 *м/мин* масштаба скоростей подачи и продолжаем эту прямую до пересечения с верхней ветвью прямой *II*. С последней точки пересечения кривой опускаем линию до пересечения с масштабом чистоты обработки и находим, что эта линия пересекает этот масштаб в точке 0,9 (за округлением), следовательно чистота обработки равняется 0,9 *мм*.

Ход решения обозначен цифрой 1.

Пример 2. Определить скорость резания при нижеследующих данных: диаметр ножевой головки — 112,5 *мм*, скорость подачи — 18 *м/мин*, число резцов — 4; нужно, чтобы чистота обработки не превышала 1,1 *мм*.

Через деление 1,1 масштаба чистоты обработки проводим линию до пересечения с верхней ветвью кривой *II*; точку пересечения соединяем прямой линией со значением масштаба скорости подачи — 18 и продолжаем эту линию до пересечения с нижней ветвью кривой *II*.

С точки пересечения кривой проводим горизонтальуню линию до пересечения с лучом, соответствующим четырем резцами, и затем через эту точку пересечения луча проводим вертикальную линию до пересечения с левой ветвью кривой *I*.

Для окончательного определения скорости резания из деления 112,5 масштаба диаметров проводим вертикальную линию до пересечения с правой ветвью кривой *I* и соединяем эту точку пересечения с ранее полученной точкой пересечения левой ветки кривой *I*.

Прямая пересечет масштаб скоростей резания в делении 25.

Следовательно скорость резания должна быть равна 25 *м/сек*.

Ход решения обозначен цифрой 2.

В заключение приводим таблицу скоростей (табл. 4).

§ 19. Примеры и задачи. 32. Определить δ (подачу на один зуб неразведенной круглой пилы) при скорости резания $V=60$ *м/сек*, скорости подачи $U=1$ *м/сек* и шаге зуба $t=25$ *мм*.

Ответ. $\delta=0{,}4$ *мм*.

33. Круглая пила с разведенными зубьями и шагом зуба $t=35$ *мм* должна работать при скорости подачи $U=1{,}2$ *м/сек* и скорости резания $V=50$ *м/сек*.

Выдержит ли нагрузку зуб круглой пилы при распиловке твердого сухого дерева и толщине пильного диска$=2{,}14$ *мм*?

Решение. 1)

$$\delta=\frac{U}{V}\cdot 2t=\frac{1{,}2\cdot 2\cdot 35}{50}=1{,}7 \text{ мм}.$$

2) Для условий прочности зубьев пилы необходимо, чтобы δ не превышала 0,6 толщины пильного диска.

В данном случае имеем

$$\delta=0{,}6\cdot 2{,}14=1{,}28 \text{ мм}.$$

Следовательно зубья пилы не выдержат нагрузки при указанных условиях работы.

34. Определить скорость подачи U *м/мин* при распиловке круглой пилой, имеющей V (скорость резания) 65 *м/сек* и δ (толщину стружки) 1 *мм*.

Пила имеет разведенные зубья с шагом зуба $t = 30$ *мм*.

Ответ. $U = 66$ *м/мин* [illegible]

Таблица 4

Таблица скоростей резания и подачи при обработке дерева

Станок	Скорость резания V *м/сек* от—до	Скорость подачи при механической подаче U *м/мин* от—до
Токарный станок	8—10	—
Ажурная пила	0,75—1	—
Пригонный (рихтовочный) с ручной подачей	25—30	—
„ с механической подачей	25—30	6—20
Строгальный станок	28—30	5—33
Калевочный станок	28—30	8—45
Маятниковая пила	60—70	—
Циркульная пила	60—70	—
Обрезной станок	60—70	30—70
Продольная чисто режущая циркульная пила	40—50	—
Простая торцовая пила	50—60	—
Двойная торцовая пила	50—60	—
Ленточная пила	20—30	—
Распускная ленточная пила	35—40	До 40
Пила для косых шипов	4	—
Фрезерный станок	10—25	—
Цепной фрезерный станок	4—8	—
Ленточный шлифовальный станок	10—15	—
Шлифовальный станок с тремя барабанами	20—25	4—8
Односторонний шпунтовой станок:		
а) обрезная пила	45	—
б) ножевой вал	17,5	—
в) шпунтовая пила	65	—
Горизонтально-сверлильный станок	3—5	—
Вертикально-сверлильный станок	3—5	—
Шипорезный станок (для прямых шипов)	25	—

В таблице указываются ориентировочные данные о скоростях резания и скоростях подачи.

35. Определить скорость резания круглой пилы с расклепанными зубьями и шагом зуба $t = 25$ *мм* при скорости подачи $U = 0{,}6$ *м/сек* и толщине стружки $\delta = 0{,}3$ *мм*.

Ответ. $V = 50$ *м/сек*.

36. На многопильном станке разрезана вдоль доска на четыре рейки (рис. 13). Определить число зубьев круглых пил, имеющих одинаковые профили зубьев и размеры дисков, если известно, что

1) ширина пропила $b = 3{,}5$ *мм*, высота пропила (или толщина доски) $h = 50$ *мм* и объем снятой древесины $q = 3412{,}5$ *см*^{3} в течение времени $t = 30$ сек.,

2) скорость резанияв 250 раз больше скорости подачи, пилы имеют расклепанные зубья, шаг зуба $t = 25$ *мм* и число оборотов пильного диска в минуту $n = 1\,700$ оборотов.

Решение. 1) Для получения четырех реек нужно сделать три пропила. При каждом пропиле был снят объем древесины, заключенный в параллелепипеде, заштрихованном на чертеже, следовательно общий объем снятой древесины при распиловке q равняется трем объемам параллелепипедов или

$$q = 3\,b \cdot h \cdot l;\ 3412{,}5\ см^3 = 3 \cdot 0{,}35 \cdot 5 \cdot l.$$

откуда

$$l=\frac{3412,5}{5,25}=65\ см=6,5\ м.$$

2) Скорость подачи равняется

$$U=\frac{l}{t}=\frac{6,5}{30}=0,217\ м/сек$$

3) По условию задачи имеем

$$V=250\cdot 0,217\ м/сек=54\ м/сек$$

и диаметр пильных дисков

$$D=\frac{60\cdot V}{3,14}=\frac{60\cdot 54}{3,14\cdot 1700}=600\ мм.$$

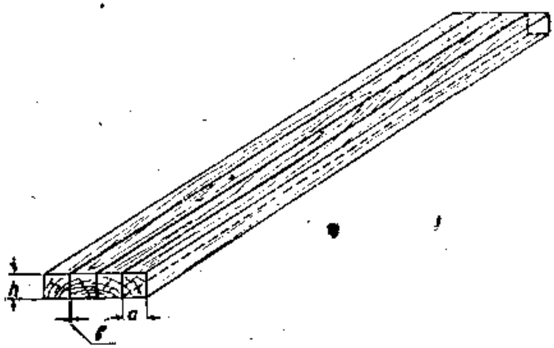


Рис. 13. Доска распилена из рейки.

4) Число зубьев круглой пилы по данному диаметру можно легко определить:

$$\pi\cdot D=t_n\cdot z;\quad 3,14\cdot 600=25\cdot z,$$

где

$$z=\frac{3,14\cdot 600}{25}=75\ зубьям.$$

37. Определить q (объем снимаемой древесины) в $см^3/сек$ круглой пилой при максимально возможной высоте пропила h, если известно, что толщина стружки $\delta = 0,2$ *мм*, число оборотов пильного вала $n = 2\,000$, диаметр пильного диска $D = 550$ *мм*, диаметр зажимной шайбы $d = 100$ *мм* и толщина стола $C = 50$ *мм* (рис. 1).

Зубья пильного диска разведены, шаг $t = 22$ *мм*, ширина пропила $b = 3,8$ *мм*.

Решение. 1) Максимально возможная высота пропила

$$h=\frac{D}{2}-\left(\frac{d}{2}+C\right)=\frac{550}{2}-(50+50)=175\ мм.$$

2) Скорость резания:

$$V=\frac{\pi\cdot Dn}{60}=\frac{3,14\cdot 0,55\cdot 2000}{60}=57\ м/сек.$$

3) Из формулы:

$$\delta = \frac{U}{V} \cdot 2t$$

определяем

$$U = \frac{\delta \cdot V}{2t} = \frac{0{,}2 \cdot 57}{2 \cdot 22} = 0{,}26 \ м/сек.$$

4) Объем снимаемой древесины в минуту

$$q = b \cdot h \cdot U = 0{,}38 \cdot 17{,}5 \cdot 0{,}26 \cdot 100 = 173 \ см^3/сек.$$

38. Определить δ (подачу дерева на каждый отдельный рез при продольном строгании), если известно, что число оборотов ножевого вала $n = 3\,000$, число ножей (резцов) $z = 2$ и скорость подачи $U = 9$ *м/мин*.

Решение. За один оборот ножевого вала дерево продвигается на величину

$$\frac{U}{n} = \frac{9000}{3000} = 3 \ мм \text{ при } z = 2; \quad \delta = \frac{3}{2} = 1{,}5 \ мм.$$

39. Определить, во сколько раз скорость резания при продольном строгании будет больше скорости подачи, если известно, что R (расстояние режущих кромок резцов от оси ножевого вала) равняется 75 *мм*, число оборотов ножевого вала—4 000 в мин., число резцов $z = 2$ и подача на один рез $\delta = 1$ *мм*.

Решение. Скорость резания

$$V = \frac{2\pi Rn}{60} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}075 \cdot 4000}{60} = 30 \ м/сек,$$

скорость подачи

$$U = \frac{\delta zn}{1000} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 4000}{1000} = 8 \ м/мин = 0{,}133 \ м/сек$$

и отношение

$$\frac{V}{U} = \frac{30}{0{,}133} = 230.$$

О ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

§ 20. Расчет производительности лесопильной рамы. Умножив скорость подачи $U = \Delta n$ на определенный промежуток длительности распиловки — T в минутах, мы получим общую длину в метрах пропущенных через лесораму бревен за этот промежуток времени, или производительность лесорамы в погонных метрах бревен

$$П = \Delta \cdot n \cdot T \tag{16}$$

T — рабочее время в минутах, ушедшее исключительно на распиловку, в каковое не включается время простоев рамы, время холостого хода, разрыв между бревнами и пр.

Для получения пропускной способности или производительности лесорамы в штуках бревен средней длины — $Б$ нужно общую погонную длину пропущенных через раму бревен разделить на среднюю длину бревна L, поэтому

$$Б = \frac{П}{L} = \frac{\Delta \cdot n \cdot T}{L}. \tag{16a}$$

По этим формулам рассчитывается производительность лесопильной рамы за любой промежуток времени — час, смену, сутки и пр., путем подстановки соответствующего времени распиловки — T в минутах.

На номограмме IV представляем графический расчет производительности лесопильной рамы по формуле:

$$Б = \frac{\Delta \cdot n \cdot T}{L}$$

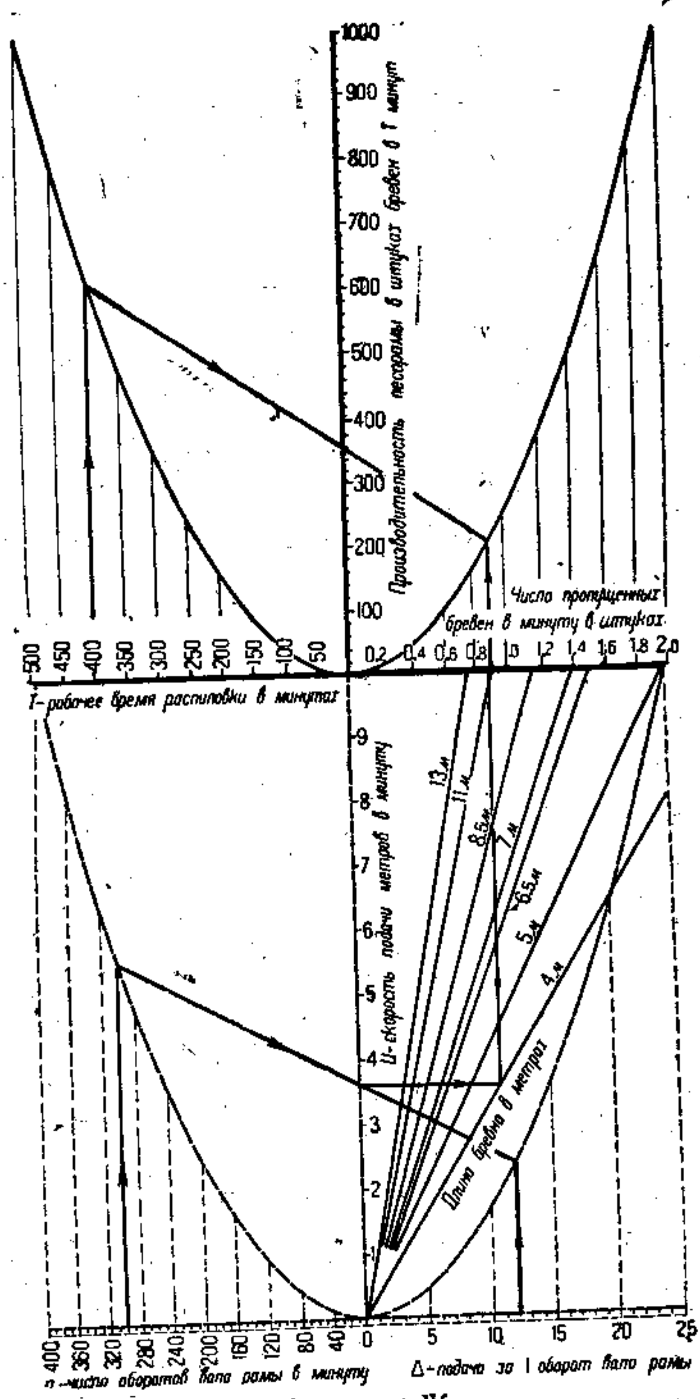
Способ пользования номограммой следующий.

Пример. Определить производительность в штуках бревен $Б$ за рабочее время распиловки $T = 400$ *мм* по следующим данным:

$$\Delta = 12, \quad n = 300, \quad L = 4 \text{ м}.$$

Через масштаб подач $\Delta = 12$ проводим вертикаль до пересечения с правой ветвью нижней параболы и через масштаб чисел оборотов рамы в минуту $n = 300$ также проводим вертикаль до пересечения с левой ветвью этой параболы. Затем указанные точки параболы соединяем прямой линией. Точка пересечения этой прямой линии с масштабом скоростей подачи даст нам $U = 3{,}6$ *м/мин*.

С этой последней точки проводим горизонталь до пересечения с лучом, соответствующим длине бревна $L = 4$ *м*. С точки пересечения луча проводим вертикаль до пересечения с правой ветвью параболы и через масштаб рабочего времени распиловки $T = 400$ мин. проводим вертикаль до



Номограмма IV.

пересечения с левой ветвью верхней параболы. Затем соединяем прямой эти две точки верхней параболы. Точка пересечения этой прямой с масштабом производительности лесорамы в штуках бревен даст нам искомый результат $Б = 350$.

По этой номограмме можно определить графически любую величину из пяти при известных четырех величинах.

§ 21. Примеры и задачи. 40. Определить годовую производительность в куб. метрах бревен лесопильной рамы при следующих данных:

1) число рабочих дней в году—300,
2) число смен—2,
3) длительность рамосмены—7 час.,
4) процент использованного на распиловку времени—85,
5) средняя подача за один оборот вала рамы $\Delta = 14$ *мм*,
6) число оборотов вала рамы в минуту $n = 320$,
7) средняя длина бревна 6,5 *м* и средняя его кубатура—0,396 $м^3$.

Решение. 1) Число смен в году $= 2300 = 600$.

2) Число рамосмен в году $= 2600 = 1200$.

3) Время распиловки в минутах в смену $T = 0{,}85 \cdot 420 = 357$ мин.

4) Производительность лесорамы в смену равняется в штуках бревен по формуле

$$Б = \frac{\Delta \cdot n \cdot T}{L} = \frac{14 \cdot 320 \cdot 357}{6{,}5} = 245 \text{ шт.}$$

5) Производительность лесорамы в год в кубометрах $= Б \cdot 1200 \cdot 0{,}396 = 245 \cdot 1200 \cdot 0{,}396 = 116320$ $м^3$.

41. Определить загрузку обрезного станка, обрезающего доски, получаемые с лесопильной рамы, имеющей производительность, указанную в предыдущем примере, если известно, что

1) число досок, получаемых с каждого бревна, равняется в среднем 7 шт.;

2) скорость подачи обрезного станка $V = 60$ *м/мин*.

Решение. 1) Общая погонная длина досок, выпускаемых лесопильной рамой в час, равняется

$$\frac{6{,}5 \cdot 7 \cdot 240}{7} = 1560 \text{ м.}$$

2) Скорость подачи обрезного станка в час $= 60 \cdot 60 = 3600$ *м*.

3) Процент загрузки станка $= \frac{1560}{3600} = 43\%$.

Станок может обслужить две лесопильных рамы данной производительности.

§ 22 Производительность транспортеров. Различного рода транспортеры: ленточные, цепные, скрепковые и пр., имеют большое применение в лесопильно-деревообделочном производстве; поэтому очень важно уметь рассчитывать производительность того или иного транспортера.

Нами будет произведен расчет типичного продольного цепного транспортера, служащего для выкатки бревен на берег с воды.

Такого рода транспортер представлен на рис. 14, из коего видно, что бревна $Б$ вытаскиваются из воды $В$ при помощи особых захватов на цепях $Ц$ и передвигаются параллельно движению цепи.

Зная скорость движения цепей транспортера V в *м/сек*, возможно рассчитать производительность транспортера в час из следующих соображений.

Нам известно, что $V = \frac{S}{t}$, где в данном случае S есть путь, пройденный цепью за время t в сек., откуда $S = V \cdot t$.

Так как $t = 1$ часу $= 60 \cdot 60$ сек. $=$ 3 600 сек., то путь, пройденный за 1 час, будет равен $S = 3600 \cdot V$.

Так как каждое бревно на цепи занимает длину, равную L, то Z число штук бревен, могущих уложиться на длине S, будет:

$$Z = \frac{3600 \cdot V}{L}.$$

Эта формула дает теоретическую производительность, имеющую место лишь в тех случаях, когда на цепи бревна будут лежать впритык друг к другу, без всяких разрывов между торцами, и когда подача на транспортер производится беспрерывно.

Для получения же фактически достигаемой часовой производительности транспортера в штуках бревен в указанную выше формулу должен быть введен коэфициент K, учитывающий все местные условия работы и разрывы между отдельными бревнами; поэтому имеем окончательно

$$Z = \frac{3600 \cdot KV}{L}. \qquad (17)$$

По этой формуле возможно рассчитать производительность продольных транспортеров как цепных, так и ленточных в штуках груза, путем подстановки в нее соответствующих каждому случаю данных, как-то: коэфициента K, определяемого опытным путем, V—скорости движения цепи в *м/сек* и L—средней длины бревна, доски, а при равномерно подаваемых штуках изделий (груза) — среднее расстояние между штуками изделий (груза).

По номограмме V представлен графический расчет производительности

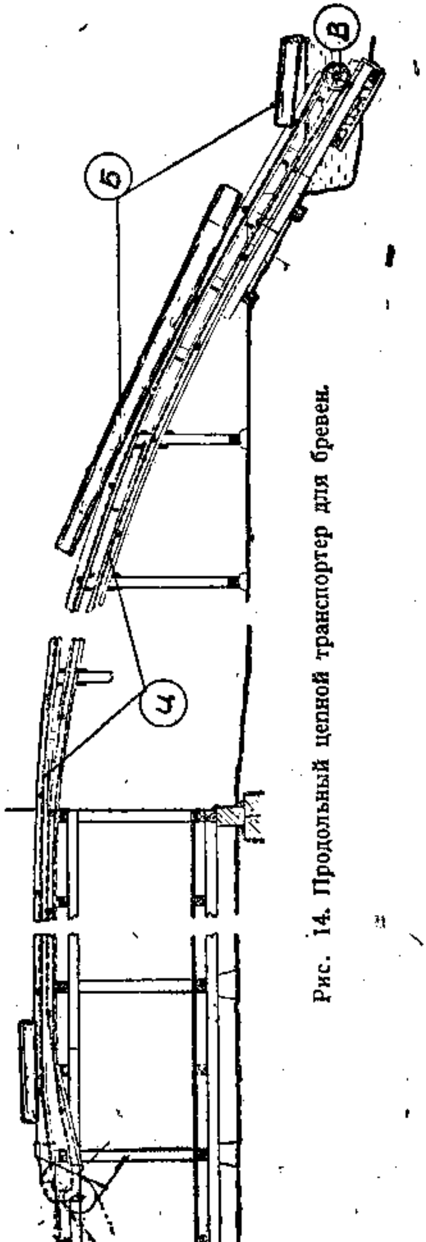
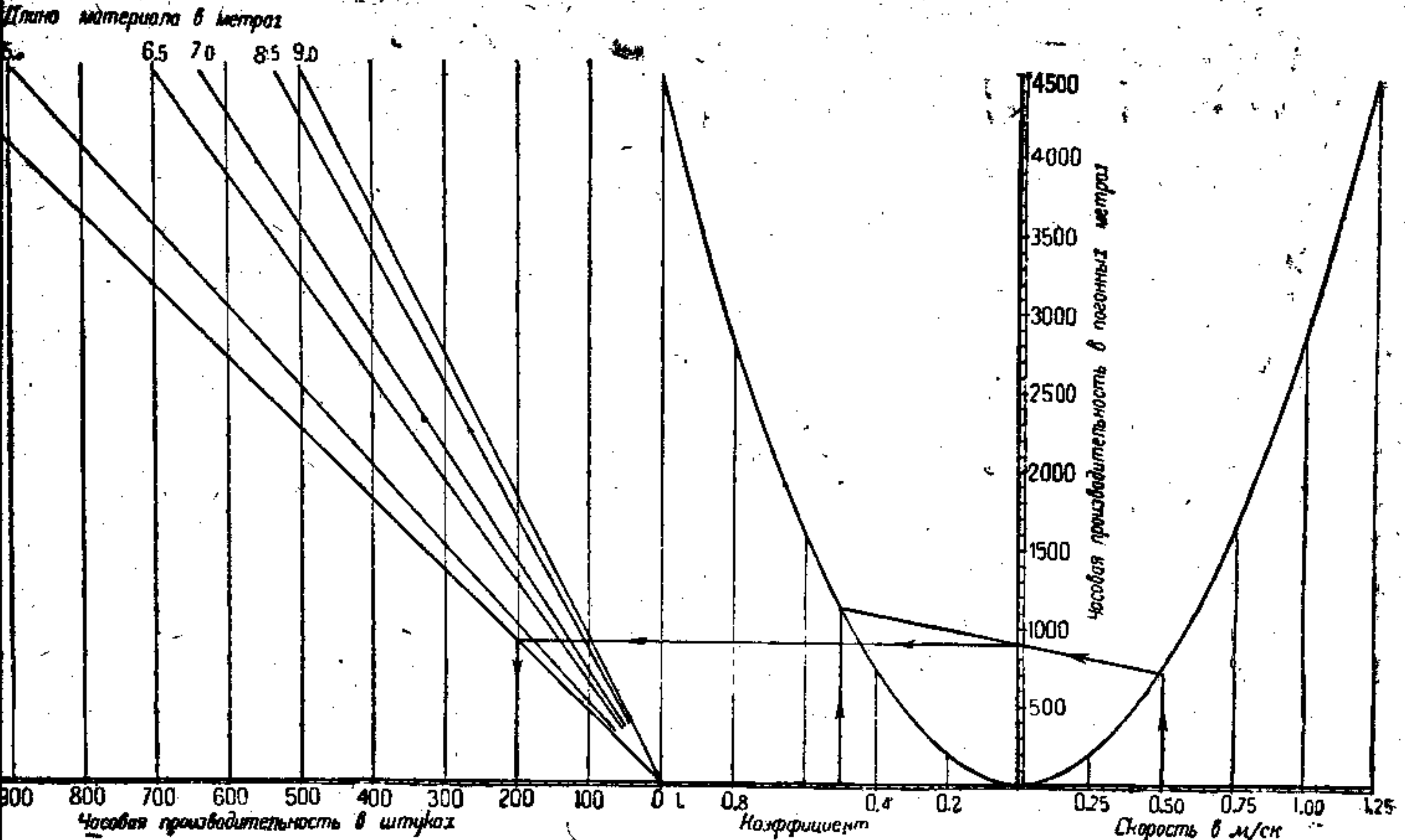


Рис. 14. Продольный цепной транспортер для бревен.



Номограмма V.

Способ пользования номограммой следующий.

Пример. Определить часовую производительность цепного транспортера для бревен по следующим данным:

скорость цепи $V = 0{,}5$ *м/сек*,

коэфициент $K = 0{,}5$,

средняя длина бревна $L = 4{,}5$ *м*.

Через деление 0,5 масштаба скоростей движения цепи проводим вертикаль до пересечения с правой ветвью параболы и через деление 0,5 масштаба коэфициентов также проводим вертикаль до пересечения с левой ветвью параболы.

Затем эти точки параболы соединяем прямой линией.

Точка пересечения этой прямой с масштабом часовой производительности транспортера в погонных метрах даст нам часовую производительность транспортера в погонных метрах.

С этой последней точки ведем горизонталь до пересечения с лучом, соответствующим длине бревна, и с этой точки луча опускаем вертикаль на масштаб часовой производительности в штуках бревен, и искомое решение будет 200 бревен в час.

По этой номограмме можно графически определить из формулы

$$Z = \frac{3600 \cdot KV}{L}$$

любую величину из четырех при известных трех величинах.

§ 23. Примеры и задачи. 42. Определить часовую фактическую производительность в штуках продольной бревнотаски (рис. 14), которая тащит бревно *Б* из воды *В* параллельно движению цепи *Ц* при нижеследующих данных:

1) V—скорость движения цепи $= 0{,}75$ *м/сек*,

2) L—длина бревна $= 6{,}4$ *м*,

3) фактическая производительность равна 0,6 теоретической или $K = 0{,}65$.

Решение. Производительность возможно рассчитать по формуле (17):

$$Z = \frac{K \cdot 3600 \cdot V}{L}.$$

Подставляя в общую формулу числовые значения, получим:

$$Z = \frac{0{,}65 \cdot 3600 \cdot 0{,}75}{6{,}4} = 270 \text{ шт.}$$

43. Определить фактическую производительность в штуках бревен в час поперечной бревнотаски (рис. 15), которая подхватывает бревно *Б* в воде *В* крюками *К* и вытаскивает его на берег поперек движения цепей *Ц* при нижеследующих данных:

1) V—скорость движения цепи $= 0{,}3$ *м/сек*,

2) L—расстояние между крюками цепей $= 3{,}2$ *м*,

3) фактическая производительность равняется 60% теоретической производительности; вывести формулу фактической производительности бревнотаски в час.

Решение. 1) Известно, что

$$V = S : t.$$

где в данном случае S есть путь, пройденный цепью за время t в сек., откуда

$$S=V\cdot t=0{,}3\cdot 60\cdot 60=1080 \text{ м}.$$

2) Так как каждое бревно занимает на цепи длину, равную $L=3{,}2$, то Z число бревен, которое находится на протяжении 1080 *м*, будет равно

$$Z=\frac{S}{L}=\frac{1080}{3{,}2}=339 \text{ шт}.$$

3) Так как фактическая производительность составляет 60% теоретической, то фактическое число бревен, могущих быть выгруженными на берег, будет равняться

$$0{,}6\cdot 339=203 \text{ шт}.$$

4) Произведя необходимые подстановки, получим формулу фактической производительности в час бревен

$$Z=\frac{K\cdot 60\cdot 60}{L}=\frac{3600\cdot K\cdot V}{L},$$

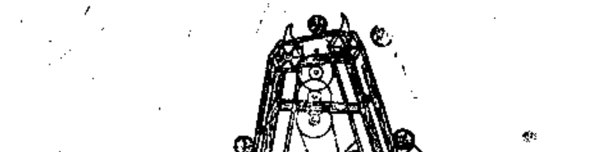


Рис. 15. Поперечный транспортер для бревен,

где K — коэфициент, учитывающий практически достигаемую производительность, зависящую от местных условий работы (опытность рабочих, состояние берега и пр.), V—скорость цепей в *м/сек*, L—расстояние между крюками в метрах.

44. Определить объем выгруженных за восьмичасовой рабочий день бревен поперечной бревнотаски при всех данных предыдущего примера, если известно, что средняя кубатура бревна равняется 0,221 $м^3$.

Ответ. 359 $м^3$.

45. Какое количество рамосмен может обслужить продольная бревнотаска, выгружающая бревна из воды на берег, при следующих данных:

А) По бревнотаске:
1) V—скорость цепи$=0{,}7$ *м/сек*,
2) L—длина бревна$=8{,}5$ *м*,
3) $K=0{,}65$,
4) время работы бревнотаски 8 часов.

Б) по раме:
1) Δ—фактическая подача за один оборот вала рамы $= 10$ *мм*,
2) n—число оборотов рамы в минуту $= 320$,
3) K_p—коэфициент использования рабочего времени рамы $= 0,9$.

Решение. А) Производительность бревнотаски:

1) Часовая производительность

$$Z = \frac{K \cdot 3600 \cdot V}{L} = \frac{0,65 \cdot 3600 \cdot 0,7}{8,5} = 190 \text{ шт.}$$

2) Производительность за 8 часов

$$190 \cdot 8 = 1520 \text{ шт.}$$

Б) Производительность рамосмены в штуках бревен:

$$Б = \frac{0,9 \cdot \Delta \cdot n \cdot 60 \cdot 7}{L} = \frac{0,9 \cdot 10 \cdot 320 \cdot 420}{8,5} = 142 \text{ бревна.}$$

Итак, бревнотаска может обслужить $\frac{1520}{142} = 10,7$ рамосмен.

46. Определить скорость сортировочного поперечного транспортера (рис. 16), состоящего из нескольких параллельных цепей, идущих по столу, поперек коих лежат доски отдельно друг от друга с некоторым зазором при следующих данных:

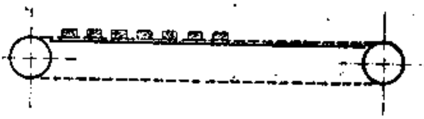
1) транспорт обслуживает 7-рамный завод;

2) все рамы работают самостоятельно (в развал), пропускают в среднем бревно в 1,75 мин. и из каждого бревна выходит 8 досок;

3) средняя ширина доски $b = 175$ *мм* и зазор $a = 50$ *мм*.

Решение. 1) Число досок, выходящих в минуту с завода,

$$Z = \frac{7 \cdot 8}{1,75} = 32 \text{ шт.}$$



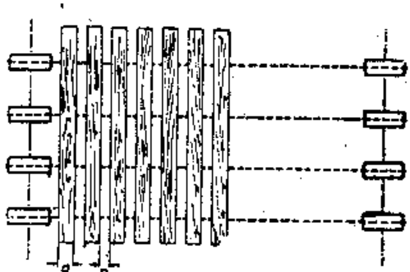


Рис. 10. Сортировочный поперечный транспортер.

2) Указанные 32 доски займут на транспортере расстояние

$$S = Z(a+b) = 32(0,05+0,175) = 32 \cdot 0,225 = 7,3 \text{ м}$$

и должны быть отсортированы в течение 1 минуты.

3) Скорость транспортера

$$V = \frac{S}{t} = \frac{7,3}{1} = 7,3 \text{ м/мин.}$$

Указанная скорость будет достаточной при условии планомерного и бесперебойного поступления досок на цепи сортировки.

ПЕРЕДАЧА МЕЖДУ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ И НЕПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ВАЛАМИ

§ 24. Законы движения ременной передачи. Если два шкива соединить бесконечным (сшитым на концах) и сильно натянутым ремнем, то вращение одного шкива, называемого ведущим, передается на другой, лежащий против него шкив, называемый ведомым (рис. 17).

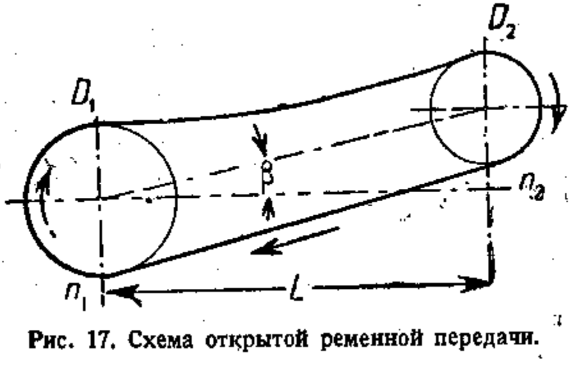


Рис. 17. Схема открытой ременной передачи.

Пусть шкив диаметра D_1 является ведущим, шкив диаметра D_2—ведомым, причем первый из них делает n_1 оборотов, а второй n_2 об/мин.

Скорость каждой точки ремня одна и та же и одинакова с окружной скоростью V_1 и V_2 обоих шкивов (при отсутствии скольжения ремня).

Окружная скорость первого шкива составляет $V_1 = \frac{\pi \cdot D_1 n_1}{60}$, а второго шкива $V_2 = \frac{\pi \cdot D_2 n_2}{60}$. Так как $V_1 = V_2$, то заключаем, что

$$\frac{\pi \cdot D_1 n_1}{60} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_2}{60} \text{ или } D_1 n_1 = D_2 \cdot n_2 \tag{18}$$

Это значит: в двух шкивах, соединенных бесконечным ремнем, произведения числа оборотов каждого шкива на диаметр его равны между собой.

Полученное уравнение преобразуется в следующую пропорцию:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{n_2}{n_1} \tag{19}$$

Диаметры работающих друг с другом шкивов обратно пропорциональны числам оборотов.

Передаточное число. Отношение числа оборотов n_2 ведомого шкива к числу оборотов n_1 ведущего называется передаточным числом.

Передаточное число равно отношению диаметра ведущего шкива к диаметру ведомого. Обозначив передаточное число через i, получим:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{n_2}{n_1} = i,$$

откуда

$$n_2 = n_1 \cdot i; \; D_1 = D_2 \cdot i. \tag{20}$$

Эти уравнения дают зависимость между передаточным числом, диаметрами и числами оборотов шкивов.

Число оборотов ведомого шкива равно числу оборотов ведущего, умноженному на передаточное число.

Диаметр ведущего шкива равен диаметру ведомого, умноженному на передаточное число.

Все указанные равенства справедливы при условии, что при вращении шкивов ремень не скользит по шкивам; на самом же деле скольжение ремня существует, вследствие чего происходит потеря скорости при передаче движения с одного шкива к другому. Эта потеря составляет около 2—3%.

Внося в равенство поправку на скольжение, получим $D_1 n_1 1{,}03 = D_2 n_2$. Поэтому для получения на ведомом шкиве заданного числа оборотов n_2 необходимо или диаметр ведущего шкива увеличивать, или диаметр ведомого шкива уменьшить на 3%, так что

$$D_1 = \frac{D_2 n_2}{n_1} \cdot 1{,}03, \tag{21}$$

$$D_2 = \frac{D_1 n_1}{n_2} \cdot 0{,}97. \tag{21a}$$

Избежать скольжения ремня мы не можем, так как не можем иметь обе ветви ремня одинаково натянутыми. К ведомому шкиву ремень подходит с одним напряжением, а оставляет его с другим—большим, следовательно часть ремня, обходя ведомый и переходя из ведомой части в ведущую, растягивается, удлиняется и скользит по шкиву.

§ 25. Номограмма VI для расчета диаметров и чисел оборотов. Для графического расчета числа оборотов и диаметров шкивов служит номограмма, в которой представлено уравнение

$$n_1 \cdot D_1 = n_2 \cdot D_2.$$

Величины представлены в виде трех шкал, на которых D—диаметры шкивов, n—число оборотов расположены на круге и V—окружные скорости—на диаметре этого круга.

Принцип номограммы состоит в том, что три соответствующие точки всегда лежат на одной прямой. Поэтому, зная две точки, легко определить третью; для этого нужно только через две данные точки двух шкал провести прямую линию и заметить точку, в которой эта прямая пересечет третью шкалу.

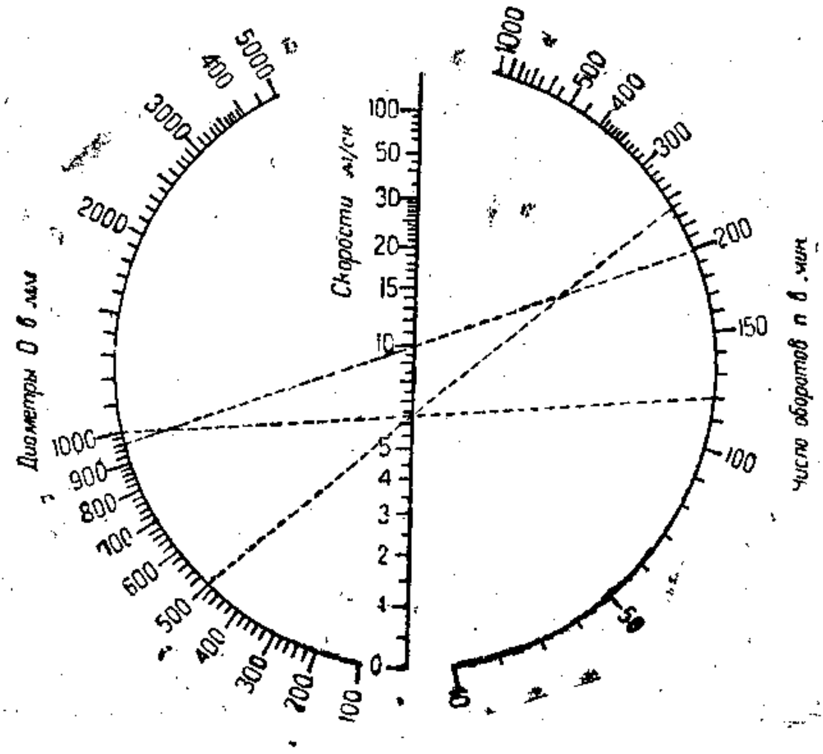
Способ пользования номограммой может быть уяснен на следующих примерах.

На чертеже проведем прямую через точки с отметками «10» и «200». Эта прямая пересекает шкалу диаметров в точке, отметку которой можно оценить приблизительно числом 960.

Следовательно диаметр шкива равняется 960 *мм*.

Таким же путем можно по данным окружной скорости и диаметру шкива определить число оборотов шкива.

2. Ведущий шкив диаметром $D_1 = 1\,000$ *мм* делает 120 об/мин, а ведомый шкив имеет $D_2 = 500$ *мм*.



Номограмма VI.

Определить число оборотов ведомого шкива.

Для ведущего шкива данное число оборотов отмечаем по шкале оборотов ($n_1 = 120$); проводим прямую через $D_1 = 1\,000$ и $n_1 = 120$ и замечаем точку пересечения этой прямой со шкалой V; затем через только что найденную точку ($V = 6{,}28$ *м/сек*) и через точку $D_2 = 500$ проводим вторую прямую, которая укажет на шкале число оборотов n_2, искомое число оборотов $n_2 = 240$.

Учитывая 2—3% на скольжение ремня, мы действительное число оборотов получим равным $0{,}97 \cdot 240 = 233$.

ведущего вала иметь возможность м е н я т ь в определенных пределах число оборотов ведомого.

Такая передача осуществляется в подающих механизмах машин и станков по механической обработке дерева, где приходится давать те или иные скорости подач в зависимости от размеров и породы дерева.

Одним из приспособлений такого рода, применяемых при ременной передаче, являются с т у п е н ч а т ы е ш к и в ы, сущность которых сводится к тому, что на ведущем и ведомом валах устанавливаются друг против друга шкивы, имеющие по нескольку ступенек различного диаметра, причем ремень может работать на любой паре лежащих друг против друга ступенек, благодаря чему и получаются различные передаточные числа.

Так, если ведущий шкив A (рис. 18) имеет 5 ступенек различных диаметров d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, а ведомый шкив столько же ступенек диаметров D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, то, в зависимости от того, на какой паре ступенек ремень будет работать, ведомый вал будет иметь 5 различных чисел оборотов соответственно 5 различным передаточным числам:

$$i_1=\frac{d_1}{D_1}, \quad i_2=\frac{d_2}{D_2}, \quad i_3=\frac{d_3}{D_3}.$$

$$i_4=\frac{d_4}{D_4}, \quad i_5=\frac{d_5}{D_5},$$

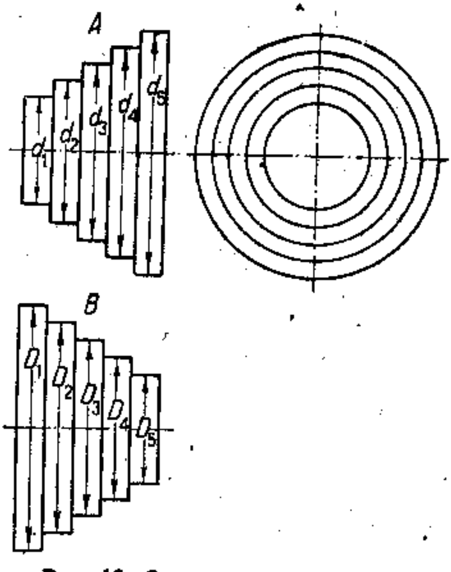


Рис. 18. Ступенчатые шкивы.

Для возможности осуществления подобной передачи должно быть выполнено условие, чтобы требуемая длина ремня была одна и та же, как на паре ступенек d_1 и D_1, так и на паре d_2 и D_2, d_3 и D_3 и т. д. Для выполнения этого условия необходимо, чтобы с у м м а д и а м е т р о в д р у г п р о т и в д р у г а л е ж а щ и х с т у п е н е к б ы л а в е л и ч и н а п о с т о я н н а я.

§ 27. Передача при помощи нескольких пар шкивов. Выведя закон передачи вращения при помощи одной пары шкивов, мы без затруднения можем обобщить его на какое угодно количество пар шкивов.

Пусть требуется определить число оборотов лесопильной рамы при схеме, изображенной на рис. 19 и осуществленной следующим образом.

Электромотор A дает n_1 об/мин и имеет шкив диаметром D_1, связанный ремнем со шкивом диаметра D_2 на трансмиссионном валу B. На этом же валу сидит шкив диаметром D_3, передающий вращение шкиву D_4 лесопильной рамы.

Переходим последовательно от одного вала к другому. Передаточное число между электромотором и трансмиссионным валом $i=\frac{D_1}{D_2}$

и число оборотов последнего

$$n_2 = n_1 \cdot i_1 = n_1 \frac{D_1}{D_2}.$$

Передаточное число между трансмиссионным валом и валом лесопильной рамы:

$$i_2 = \frac{D_3}{D_4}$$

и число оборотов вала рамы

$$n_1 = n_3 \cdot i_2 = n_2 \cdot i_2 = n_2 \frac{D_3}{D_4},$$

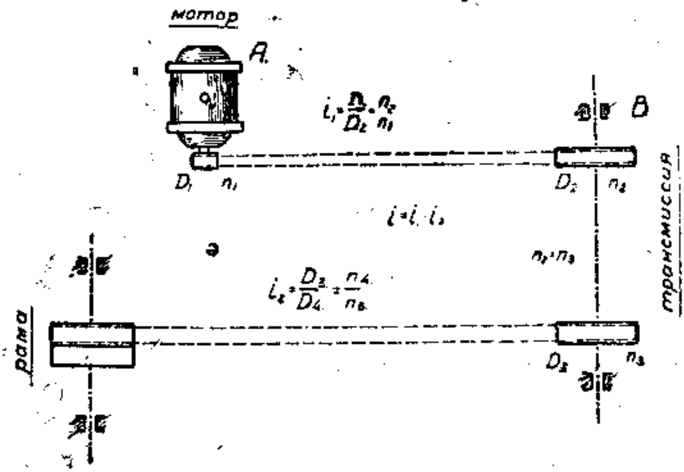


Рис. 19. Передача двумя парами шкивов.

так как ясно, что $n_2 = n_3$ — число оборотов шкивов, сидящих на одном валу, равны.

Подставляя вместо n_2 полученное выше выражение, получим окончательное число оборотов вала рамы

$$n_4 = n_1 \cdot i_1 \cdot i_2 = n_1 \cdot i = n_1 \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{D_3}{D_4}, \tag{22}$$

где общее передаточное число $i = i_1 \cdot i_2$.

Число оборотов ведомого шкива равно числу оборотов первого ведущего шкива, умноженному на произведение диаметров всех ведущих шкивов и разделенному на произведение всех ведомых шкивов.

Полное передаточное число равно произведению всех частных передаточных чисел.

§ 28. Виды ременной передачи. 1. *Передача между параллельными валами, вращающимися в одном направлении.*

Ведущий конец ремня должен быть расположен внизу. Сопоставляя два случая при ведущем конце наверху (рис. 20) и ведомом конце наверху (рис. 21), мы видим, что в первом случае угол обхвата (углом обхвата называется центральный угол, опирающийся на дугу, по которой происходит касание ремнем шкива) меньше, чем во втором случае, так как ненатянутый ведомый конец провисает под действием собственного веса.

При увеличении расстояния между валами вследствие провисания ремня угол обхвата увеличивается.

Расстояние это зависит от ширины ремня; его берут от 4 до 10 *м* и более. Допускаемое наибольшее расстояние между валами для ременной пере-

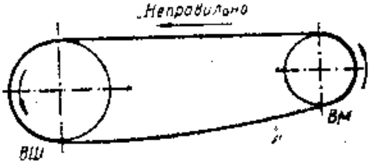


Рис. 20. Ведущий конец ремня наверху.

Рис. 21. Ведущий конец ремня внизу.

дачи—15 *м*(для канатной до 23 *м*), так как за этими пределами работа передачи становится неспокойной, ремень начинает «бить». Указанного рода передача называется открытой.

2. *Передача между параллельными валами, вращающимися в разные стороны, так называемая перекрестная передача* (рис. 22).

При перекрестной передаче увеличивается угол обхвата, но это увеличение связано с расстоянием между валами; при малых расстояниях получается косой сход ремня, что ведет к уменьшению использования ремня. Для быстрого хода и широких ремней перекрестная передача не допускается.

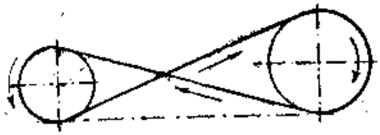


Рис. 22. Схема перекрестной ременной передачи.

§ 29. Условия правильной работы ременной передачи. Для удовлетворительной работы ременной передачи должны быть выполнены следующие условия:

1) Передаточное число не должно быть больше 5 и меньше 1/5.

Наиболее благоприятные передаточные числа 1 : 1; 2 : 1. При необходимости по местным условиям увеличивать передаточное число, необходимо для увеличения углов обхвата присутствие нажимного ролика.

2) Расстояние между валами может выбираться из следующей таблицы (табл. 5).

Таблица 5

Ширина ремня в *см*	До 5	7	10	15	20	30	30—80
Наивыгоднейшее расстояние L в *м*	3	4	5,5	7	8	9	8—11

Расстояние можно определить также по формуле:

$L \geqslant$ (больше или равно) $2\,(D_1+D_2)$, где D_1 и D_2 — диаметры ведущего и ведомого шкивов.

3) Шкивы должны быть точно центрированы, тщательно обточены, строго выбалансированы и установлены перпендикулярно валу.

4) Шкивы с выпуклыми ободами применяются только в качестве ведомых шкивов при открытом ремне.

5) Для определения ширины обода можно рекомендовать следующую формулу:

$$B = 1{,}1\,b + (5-10\ \text{мм}),$$

где B — ширина обода; b — ширина ремня.

6) Диаметры шкивов следует выбирать таким образом, чтобы они равнялись не менее чем стократной толщине ремней.

7) Наивысшие точки обоих шкивов расположены по одной горизонтали (или на линии, составляющей с горизонталью угол максимум в 45°).

8) Ремни должны быть одинаковой толщины и обладать повсюду одинаковой гибкостью.

Главнейшими причинами скольжения ремней являются:

а) недостаточная гибкость ремня; недостаток этот устраняется выбором ремня соответствующего качества, а также соответствующим выбором диаметра шкива, согласно вышеуказанному требованию 6;

б) недостаточная сила трения между ремнем и ободом шкива; для того чтобы вызвать необходимую силу трения между ободом шкива и ремнем, последний одевается на шкив с известным натяжением. Для этой же цели смазывают рабочую поверхность различными веществами, под действием которых ремень укорачивается и сильнее прижимается к шкиву; употребляемую часто канифоль рекомендовать нельзя, так как она делает ремень сухим и ломким;

в) недостаточная длина дуги, по которой происходит касание между ремнем и шкивом (небольшая величина угла обхвата).

Угол обхвата будет на меньшем шкиве тем более, чем ближе передаточное число к единице и чем больше при данных диаметрах расстояние между шкивами.

Вследствие этого для удовлетворительной работы необходимо выполнение вышеуказанных условий 1 и 2.

§ 30. Примеры и задачи. 47. Требуется определить число оборотов круглой пилы (рис. 23), приводимой во вращение электромотором, если

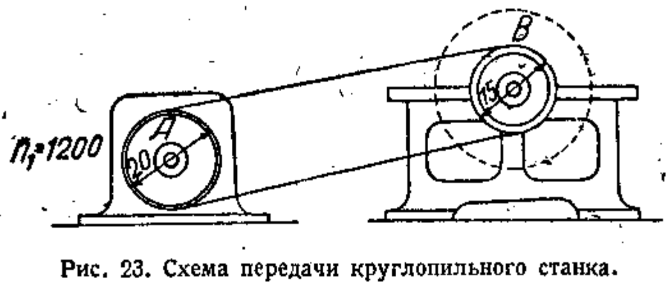


Рис. 23. Схема передачи круглопильного станка.

число его оборотов в минуту $n_1 = 1200$, диаметр D_1 ведущего шкива $A = 20$ *см*, а диаметр D_2 ведомого шкива $B = 15$ *см*, принимая во внимание, что скольжение ремня составляет 2%.

Ответ. 1570.

48. Окружная скорость маятниковой пилы диаметром $D = 600$ *мм* должна быть 56 *м/сек* (рис. 24).

Определить диаметр пильного шкива D_2, если известно, что диаметр ведущего шкива $D_1 = 400$ *мм* и число его оборотов $n_1 = 700$.

Решение. 1)

$$V = 56 = \frac{\pi D n_2}{60},$$

$$56=\frac{3,14\cdot 0,6\cdot n_2}{60},$$

$$n_2=\frac{56\cdot 60}{0,6\cdot 3,14}=1800,$$

n_2 — число оборотов пильного вала.

Принимая в расчет 3% на скольжение ремня, имеем

2) $$D_2=\frac{D_1\cdot n_1}{n_2}\cdot 0,97$$

(см. формулу 21а).

Подставляя данные в формулу, имеем

$$D_2=\frac{0,4\cdot 700}{1800}\cdot 0,97=0,15\ м.$$

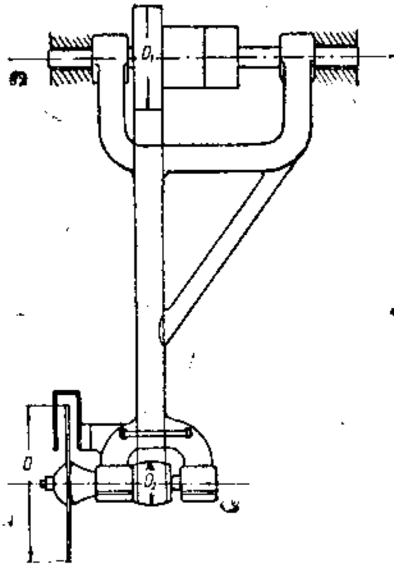


Рис. 24. Схема передачи маятниковой пилы.

49. Определить диаметр шкива мотора D_1, делающего $n=720$ об/мин, передающего движение точильному станку, диаметр точильного круга которого $D=600$ м и окружная скорость $V=7,5$ м/сек, диаметр шкива на станке $D_4=200$ мм. Диаметры шкивов трансмиссии: $D_3=133$ мм, $D_2=300$ мм (рис. 25).

Решение. По формуле 22 имеем

$$n_4=n_1\ \frac{D_1\cdot D_3}{D_2\cdot D_4}.$$

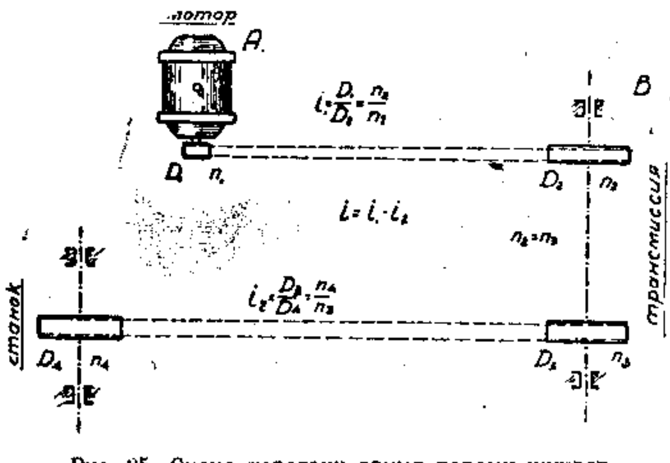


Рис. 25. Схема передачи двумя парами шкивов.

n_4 — число оборотов точильного круга, может быть определено по окружной скорости

$$V=\frac{\pi \cdot D \cdot n_4}{60}; \quad 7{,}5=\frac{\pi \cdot D \cdot n_4}{60}; \quad n_4=\frac{7{,}5 \cdot 60}{3{,}14 \cdot 0{,}6}=240.$$

Подставляя в вышеуказанную формулу данные величины, получим

$$240=\frac{720 \cdot D_1 \cdot 133}{300 \cdot 200}; \quad D_1=\frac{240 \cdot 300 \cdot 20}{720 \cdot 133}=150 \text{ мин.}$$

Учитывая скольжение в двух ременных передачах, увеличиваем диаметр ведущего шкива на 4%, и получаем окончательно:

$$D_1=1{,}04 \cdot 150=156 \ \textit{мм}.$$

50. Определить число оборотов ножевого вала фуговочного станка n_4 если известно, что шкив электромотора имеет диаметр $D_1 = 150$ *мм*, делает в минуту $n_1 = 1440$ оборотов.

Шкивы на передаточной трансмиссии $D_2 = 100$ *мм*, $D_3 = 186$ *мм*, шкив станка диаметром $D_4 = 100$ *мм* (рис. 25).

Ответ. Число оборотов n_4: 1) без учета скольжения—4000; 2) с учетом 4% скольжения двух ременных передач—3840.

51. От шкива диаметром $D_1 = 180$ *мм* электромотора, делающего $n_1 = 1400$ об/мин, нужно через передаточную трансмиссию передать вращение, как изображено на схеме привода (рис. 25), пильному валу ребрового станка, у которого диаметр пильного шкива $D_4=360$ *мм* и число оборотов вала $n_4 = 1800$ об/мин.

Какого диаметра шкив D_3 должен быть поставлен на трансмиссию, если известно, что $D_2 = 400$ *мм*?

Решение. 1) Общее передаточное число

$$i=i_1 \cdot i_2=\frac{n_4}{n_1}=\frac{1800}{1400}=1{,}28,$$

2) $$i_1=\frac{D_1}{D_2}=\frac{180}{400}=0{,}45,$$

3) $$i=1{,}28=0{,}45 \cdot i_2; \quad i_2=\frac{1{,}28}{0{,}45}=2{,}85,$$

4) $$i=\frac{D_3}{D_4}; \quad 2{,}85=\frac{D_3}{360}; \quad D_3=360 \cdot 2{,}85=1026 \ \textit{мм}.$$

52. От шкива электромотора, дающего 725 об/мин, нужно через передаточную трансмиссию передать вращение валу лесопильной рамы, у которой ход рамы H равен 500 *мм* и максимальная средняя скорость резания 5 *м/сек* (рис. 25).

Какого диаметра должен быть ведомый шкив трансмиссии D_2, если D_1 мотора не может быть меньше 500 *м* и передаточное число ведущего шкива трансмиссии D_3 и рамного шкива D_4 равняется 1;

$$i_2=\frac{D_4}{D_4}=1.$$

Решение. 1) Средняя скорость рамы

$$V=\frac{2 \cdot Hn_4}{60}; \quad 5=\frac{2 \cdot 0{,}5 \cdot n_4}{60},$$

число оборотов вала рамы

$$n_4=\frac{60\cdot 5}{1}=300 \text{ оборотов.}$$

2) Полное передаточное число:

$$i=i_1\cdot i_2=\frac{n_4}{n_1}=\frac{300}{725}=\frac{1}{2{,}42};$$

по условию

$$i_2=1;\quad i=i_1\cdot 1;\quad i=i_1;$$

$$\frac{D_1}{D_2}=i_1=\frac{1}{2{,}42};\quad D_2=2{,}42\cdot 500=1210 \text{ мм}=1{,}21 \text{ м}.$$

53. От шкива электромотора, дающего 720 об/мин, нужно через передаточную трансмиссию передать вращение пильному валу обрезного (с двумя пилами) станка, у которого скорость подачи U в 60 раз меньше V скорости резания. Известно, что число оборотов подающего вальца диаметром 350 *мм* равно 5,5 в мин.; диаметр пильного диска—650 *мм*.

Какого диаметра шкивы должны быть на трансмиссии, если диаметр шкива на моторе равняется $D_1=400$ *мм*?

Диаметр пильного шкива $D_4=360$ *мм* и $i_1=\frac{D_1}{D_2}=1$ (рис. 25).

Решение. А) Определение числа оборотов пильного вала.

1) Скорость подачи

$$U=3{,}14\cdot 0{,}350\cdot 5{,}5=60 \text{ м/мин}=1 \text{ м/сек}.$$

2) Скорость резания равняется

$$V=60\cdot U=60 \text{ м/сек}.$$

3) $$V=\frac{3{,}14\cdot 0{,}65\, n_4}{60},\quad n_4=\frac{60\cdot 60}{0{,}65\cdot 3{,}14}=1800 \text{ оборотов,}$$

n_4 — число оборотов пильного вала.

Б) Определение диаметров шкивов трансмиссии.

1) $$i=\frac{n_4}{n_1}=\frac{1800}{720}=2{,}5;$$

n_1 — число оборотов мотора,

$$i=i_1\cdot i_2;\quad i=2{,}5=1\cdot i_2;\quad i_2=2{,}5.$$

2) $$i_2=\frac{D_3}{D_4};\quad D_3=i_2\cdot D_4=2{,}5\cdot 0{,}360=900 \text{ мм}.$$

Итак, на трансмиссию должны быть поставлены шкивы следующих диаметров:

$$D_2=400 \text{ мм};\quad D_3=900 \text{ мм}.$$

54. Определить числа оборотов шпинделя токарного станка по дереву, приводящегося через контрпривод в движение от электромотора, делающего 1420 об/мин (рис. 26).

Цифры, заключенные в рамках, указывают: первые—диаметры шкивов в *мм*, вторые—ширину ободов шкивов в *мм*.

Ответ. $n_1=170$, $n_2=310$, $n_3=690$, $n_4=1455$.

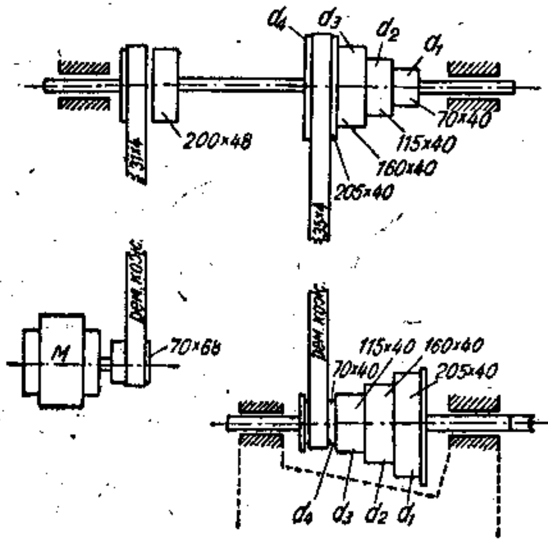


Рис. 26. Схема передачи токарного станка.

55. Вывести общую формулу для определения числа оборотов шкива C ременной передачи, изображенной на рис. 27.

§ 31. Законы движения зубчатых передач. Зубчатое колесо или шестерня представляет собой дискообразное тело, снабженное по наружной цилиндрической поверхности выступами и впадинами определенных очертаний, образующих зубцы.

Зубчатые колеса работают парами, так что выступы одного колеса входят во впадины другого, иначе говоря, зубцы одного колеса захватывают зубцы другого, передавая таким образом вращательное движение от вала одной шестерни к валу другой.

На рис. 28 даны наименования важнейших частей зубчатого колеса.

Окружность выступов, диаметр которой обозначен через D_1, представляет собой внешнюю окружность зубчатого венца.

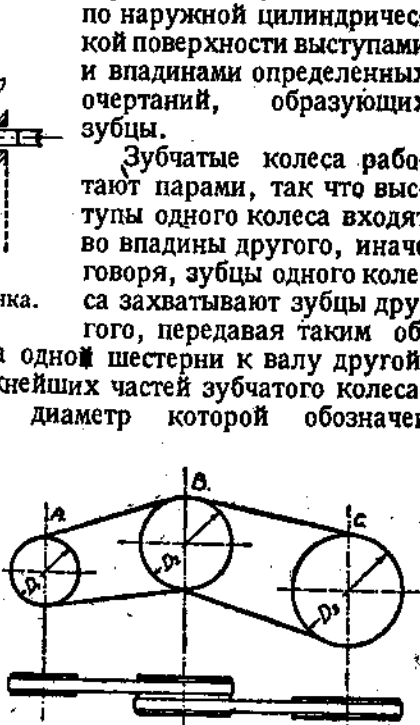


Рис. 27. Схема ременной передачи к задаче 55

Делительная окружность с диаметром D_1, называемая также начальной окружностью, есть основная линия при расчете зубчатого колеса.

Окружность впадин с диаметром D вместе с окружностью выступов определяют собой высоту зубца H.

Высота головки зубца h_1 и высота ножки зубца h_2 дают вместе высоту зубца H.

Шаг зацепления t представляет собой расстояние, измеренное по начальной окружности между соответственными боками двух смежных зубцов. Шаг зацепления t слагается из толщины зубца a и ширины впадины b.

Длина зубца l понятна из чертежа.

Общие выведенные выше законы справедливы и для двух зацепленных зубчатых колес и в этом случае под D_1 и D_2 подразумеваются диаметры начальных окружностей (рис. 29).

Скорости зубцов обоих колес в месте зацепления, очевидно, одинаковы, и следовательно окружные скорости V_1 и V_2 начальных окружностей одинаковы.

Для первого колеса (ведущего)

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60},$$

для второго колеса (ведомого)

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_2}{60}.$$

Так как $V_1 = V_2$, то заключаем, что

$$\frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_2}{60}.$$

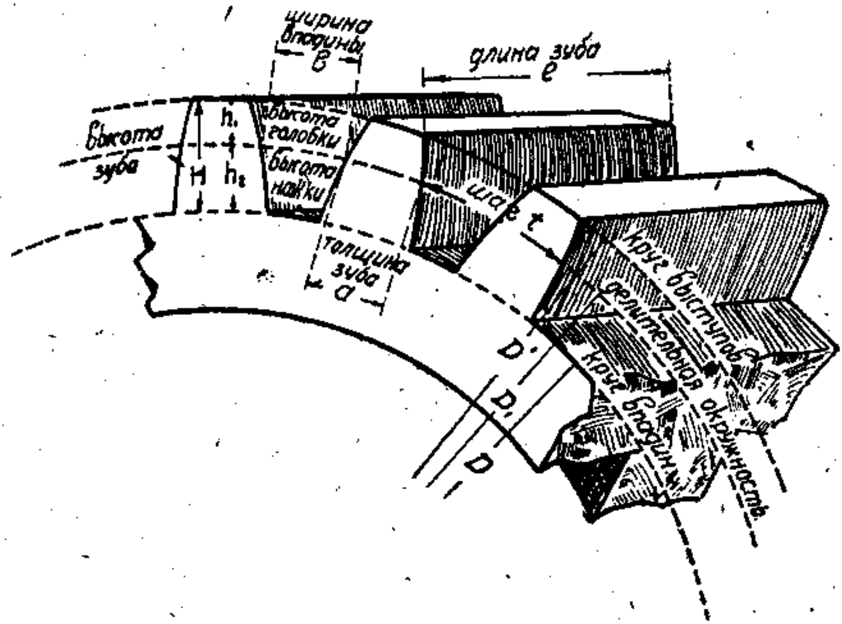


Рис. 28. Элементы зубчатого колеса.

Сокращая на $\frac{\pi}{60}$, имеем:

$$D_1 \cdot n_1 = D_2 \cdot n_2,$$

отсюда

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Отношение диаметров $\frac{D_1}{D_2}$ равно отношению длин начальных окружностей $\frac{\pi \cdot D_1}{\pi \cdot D_2}$.

Длину окружности 1-го колеса (ведущего) можно выразить через произведение шага зацепления t, одинакового для обоих колес, на число зубцов 1-го колеса — $t \cdot Z_1$ и аналогично — длину окружности 2-го колеса (ведомого) через $t \cdot Z_2$.

На основании изложенного можно написать формулы:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\pi \cdot D_1}{\pi \cdot D_2} = \frac{t \cdot Z_1}{t \cdot Z_2} = \frac{Z_1}{Z_2},$$

и следовательно

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2}. \qquad (23)$$

Это значит: число зубцов Z_1 ведущего колеса во столько раз больше (или меньше) числа зубцов Z_2 ведомого колеса, во сколько раз число оборотов n_2 ведомого больше (или меньше) числа оборотов ведущего колеса n_1.

Для вычисления же чисел зубцов служат следующие уравнения:

$$Z_1 = \frac{n_2 \cdot Z_2}{n_1}, \qquad (24)$$

$$Z_2 = \frac{n_1 \cdot Z_1}{n_2}. \qquad (24a)$$

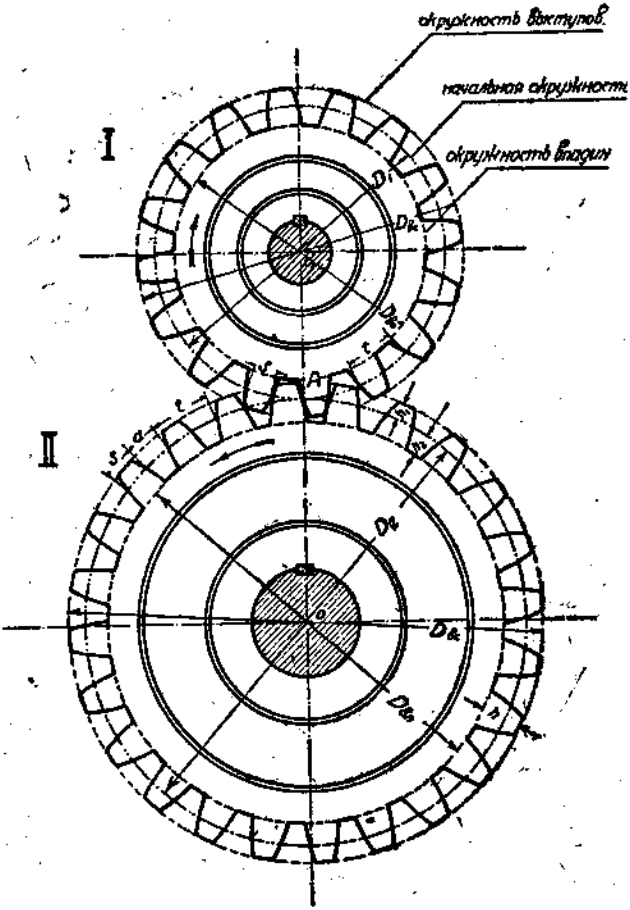


Рис. 29. Зубчатая передача.

Это значит: **чтобы найти число зубцов зубчатого колеса, сцепленного с другим известным зубчатым колесом, следует разделить произведение числа зубцов и числа оборотов известного зубчатого колеса на требуемое число оборотов искомого зубчатого колеса.**

Для определения чисел оборотов служат уравнения:

$$n_1 = \frac{n_2 \cdot Z_2}{Z_1}, \qquad (25)$$

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot Z_1}{Z_2}. \qquad (25a)$$

Это значит: чтобы найти число оборотов зубчатого колеса, сцепленного с другим известным зубчатым колесом, следует разделить произведение из числа зубцов и числа оборотов известного зубчатого колеса на число зубцов искомого колеса.

И наконец последнее правило:

Передаточное число двух сцепляющихся между собой колес равно отношению числа зубцов ведущего колеса к числу зубцов ведомого колеса или отношению числа оборотов ведомого колеса к числу оборотов ведущего колеса.

Обозначив передаточное число через i, получим

$$i=\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{n_2}{n_1}. \tag{26}$$

Применение этих правил может быть объяснено следующими примерами:

Пример 1. Зубчатое колесо A имеет 100 зубцов и делает в минуту 75 оборотов. Зубчатое колесо A должно сцепляться колесом B, насаженным на валу, который должен делать 150 об/мин.

Сколько зубцов должно получить колесо B?

Если обозначить число оборотов и число зубцов данного зубчатого колеса A через $n_1 = 75$ и $Z_1 = 100$, а число оборотов колеса B через $n_2 = 150$, то нехватает четвертого члена Z_2, который получится по уравнению (24а):

$$Z_2=\frac{75\cdot100}{150}=50.$$

Пример 2. Зубчатое колесо имеет 80 зубцов и делает 30 об/мин. Оно приводит в движение другое колесо с 24 зубцами. Сколько оборотов в минуту делает последнее?

Применяя уравнение (25а), получим

$$n_2=\frac{30\cdot80}{24}=100 \text{ об/мин}.$$

§ 32. Паразитные шестерни. При рассмотрении зубчатой передачи с двумя шестернями мы видим, что шестерни вращаются в разные стороны (рис. 30).

Для достижения вращения в одну сторону и при большем расстоянии между осями, когда насаженные на них шестерни не сцепляются между собой, пользуются промежуточными шестернями.

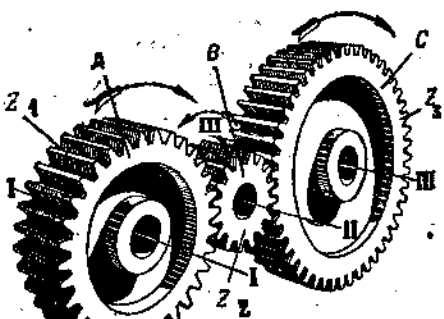


Рис. 30. Паразитная шестерня.

На рис. 30 представлено зацепление зубчатого колеса A осью I и числом зубцов Z_1 с зубчатым колесом C с осью III и числом зубцов Z_3 через промежуточную шестерню B с осью II и числом зубцов Z_2.

Подсчитаем передаточные числа.

Передаточное число от шестерни A к шестерни B равняется:

$$i_1 = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Передаточное число от шестерни B к шестерне C равняется:

$$i_1 = \frac{Z_2}{Z_3} = \frac{n_3}{n_2}.$$

Общее передаточное число:

$$i = i_1 \cdot i_2,$$

откуда

$$i_1 = \frac{n_2 \cdot n_3}{n_1 \cdot n_2} = \frac{n_3}{n_1} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_2 \cdot Z_3} = \frac{Z_1}{Z_3}.$$

Таким образом мы видим, что числа оборотов шестерен A и C зависят только от числа зубцов этих шестерен, и промежуточная шестерня никакого влияния на число оборотов последней оси не оказывает.

Поэтому такие промежуточные шестерни называются паразитными.

Из рис. 30 видно, что благодаря паразитной шестерне колеса A и C вращаются в одном направлении, как указано стрелками.

Ясно, что при удалении промежуточной шестерни непосредственно сцепляющиеся между собой зубчатые колеса начнут двигаться при вращении в разных направлениях.

§ 33. Передача движения несколькими парами зубчатых колес. Выведя закон передачи при помощи одной пары зубчатых колес, мы без затруднения можем обобщить его на какое угодно количество пар зубчатых колес.

Пусть требуется определить число оборотов цепного колеса, на которое одета цепь продольного транспортера для бревен при схеме передачи, изображенной на рис. 31 и осуществленной следующим образом:

Шкив D_1 вместе с валом I и ведущим зубчатым колесом, имеющим Z_1 зубцов, делает h_1 об/мин, передает через зубчатое колесо с Z_2 зубцов вращение валу II.

Тогда число оборотов колеса Z_2, а следовательно и вала II в одну минуту составит:

$$n_2 = n_1 \cdot i_1 = n_1 \cdot \frac{Z_1}{Z_2}$$

На этом же валу II насажена шестерня с числом зубцов Z_3, сцепляющаяся с зубчатым колесом, имеющим Z_4 зубцов и передающим вращение III валу, на котором находится цепное колесо.

Число оборотов III вала, а следовательно и цепного колеса, в одну минуту составит:

$$n_3 = n_2 \cdot i_2 = n_2 \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

Подставляя вместо n_2 выражение предыдущего уравнения, получим

$$n_3 = n_1 \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \tag{27}$$

$$n_3 = i_1 \cdot i_2 \cdot n_1 = i \cdot n_1 \tag{27a}$$

Число оборотов последнего ведомого колеса равно числу оборотов первого ведущего колеса, умноженному на произведение числа зубцов всех ведущих зубчатых колес и разделенному на произведение числа зубцов всех ведомых колес.

Полное передаточное число равно произведению всех частных передаточных чисел.

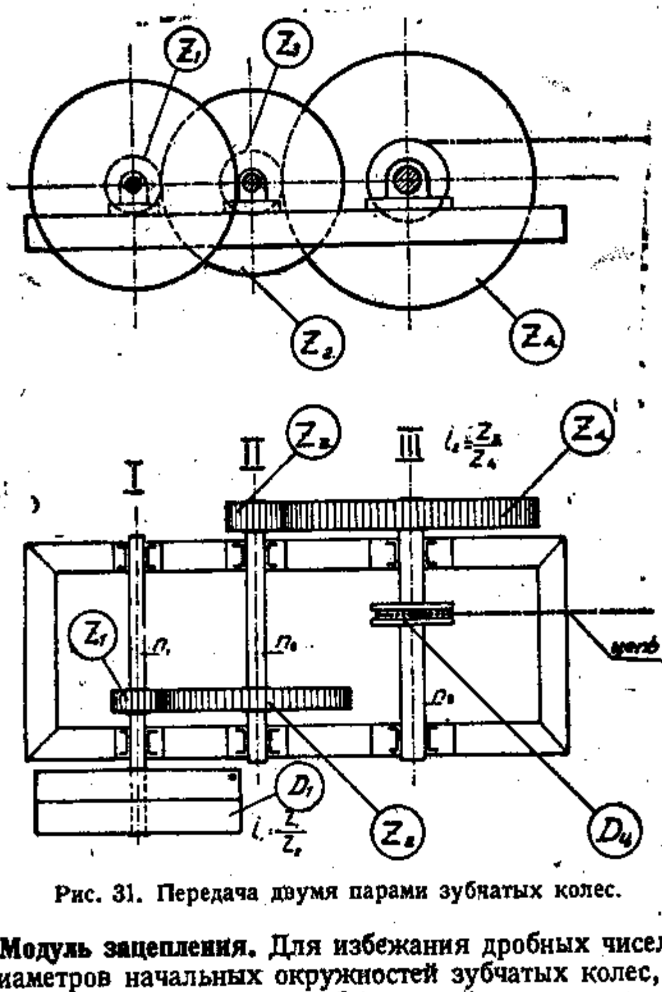


Рис. 31. Передача двумя парами зубчатых колес.

§ 34. Модуль зацепления. Для избежания дробных чисел при вычислении диаметров начальных окружностей зубчатых колес, что крайне осложняет расчеты, имеется способ, который получил широкое применение. Из предыдущего мы знаем, что длина начальной окружности может быть заменена произведением числа зубцов на шаг зацепления, или

$$\pi D_1 = Z \cdot t.$$

Теперь посмотрим, при каких условиях D_1 будет целым числом

$$D_1 = \frac{Z \cdot t}{\pi}.$$

Так как Z всегда число целое, то D_1 будет также целым числом, если второй множитель $\frac{t}{\pi}$ будет числом целым. Итак, отношение шага зацепления к числу π должно быть целое, или

$$\frac{t}{\pi} = \mu, \text{ где } \mu \text{ — целое число.}$$

Откуда имеем

$$\boxed{t = \mu \cdot \pi \text{ мм}}$$

Это целое число перед π, при помощи которого можно просто определить начальную окружность и получить размеры диаметров, удобные для выполнения работы на токарных станках, называется модулем зубчатого колеса.

Диаметр начальной окружности при подстановке вместо отношения шага зуба к π — модуля μ примет следующий вид:

$$\boxed{D_1 = \mu \cdot Z \text{ мм}} \qquad (28)$$

Итак, диаметр начальной окружности равняется произведению модуля зацепления на число зубцов зубчатого колеса.

Число зубцов колеса мы получим, если разделим диаметр начальной окружности на модуль, т. е.

$$Z = \frac{D_1}{\mu} \qquad (29)$$

Высота головки зубца h_1 обыкновенно принимается равной 3,0t. По формуле мы имеем $t = \pi \cdot \mu$, откуда $h_1 = 0{,}3 \cdot 3{,}14\,\mu = 0{,}942\,\mu$ почти что равно модулю:

$$\boxed{h_1 = \mu \text{ мм}}.$$

Из рис. 29 видно, что диаметр окружности выступов равняется

$$D' = D_1 + 2h_1 = \mu z \cdot + 2\mu,$$

т. е.

$$\boxed{D' = \mu\,(z + 2) \text{ мм}}$$

Ножку зубца h_2 обыкновенно принимают равной 0,4 t или

$$h_2 = 0{,}4\ t = 0{,}4 \cdot 3{,}14\,\mu = 1{,}25\,\mu.$$

$$\boxed{h_2=1,25\,\mu\ мм}$$

и следовательно полная высота зуба, выраженная в модулях, равняется:

$$h=h_1+h_2=\mu+1,25\mu=2,25\,\mu$$

$$\boxed{h=2,25\,\mu\ мм}$$

§ 35. Модуль шага зуба круглой пилы. Для облегчения расчетов элементов круглых пил для дерева полезно также ввести модульную систему.

По аналогии с зубчатым зацеплением имеем:

$$\boxed{\begin{gathered}D=\mu\cdot Z,\\ t=\pi\cdot\mu,\end{gathered}}$$

где D — диаметр пильного диска в *мм*, t — шаг зуба пилы в *мм* и Z — число зубьев пилы.

Вышеуказанные формулы и приводимые ниже вычисленные средние значения модулей для некоторых видов распиловки и станков дадут возможность разрешать ряд задач по определению числа зубьев, диаметра и шага зубьев пильных дисков для ряда случаев, возникающих в практике лесопильного производства.

Приводим средние значения модулей шага зуба, употребляемых в лесопилении.

Американские пилы. 1) Круглые пилы американских фирм, предназначенные для продольной распиловки бревен, при диаметрах выше одного метра имеют модули μ=от 15 до 25.

2) Пилы с диаметром около 700 *мм* имеют модули:

а) для продольной распиловки μ=от 14 до 20,
б) для поперечной » $\mu=10$.

Пилы, употребляемые в СССР. Средние значения модулей круглых пил, употребляемых на наших экспортных лесопильных заводах, приводятся в табл. 6.

Таблица 6

Наименование станка	Толщина пильного диска в *мм*	Диаметры в *мм*		Средние значения модулей *м* от—до
		наибольший	наименьший	
Продольная распиловка:				
Обрезной	2,41; 2,11	600	400	6,25 — 10
Ребровый	2,41; 2,11	750	450	7,5 — 12,5
Реечный	2,41; 2,11	450	350	7 — 11
Поперечная распиловка:				
Торцовые пилы	2,11; 1,83	700	500	6 — 8,5
Концеравнители	2,11; 1,83	500	400	5 — 6

§ 36. Примеры и задачи. На разборе нижеследующих примеров 56—59 мы убедимся, что при пользовании модульной системой расчеты элементов пилы принимают крайне простой вид и удобно выполнимы.

56. Американская фирма Симонд рекомендует при ограниченных возможностях потребления мощности не делать больше одного зуба на каждые 25 *мм* диаметра.

Сколько зубьев должен иметь пильный диск диаметром $D = 1\,500$ *мм* и чему должна равняться величина шага зуба?

Решение. 1) По формуле (28) имеем:

$$D=\mu\cdot Z,$$

откуда

$$\mu=\frac{D}{Z}=25,$$

так как по условию задачи на каждые 25 *мм* диаметра не должно быть больше одного зуба;

2) $$Z=\frac{D}{\mu}=\frac{1500}{25}=60$$

и

3) $$t=\pi\cdot\mu=3{,}14\cdot25=78{,}5 \text{ мм}.$$

57. Пильный диск, предназначенный для продольной распиловки бревен, должен иметь 80 зубьев и модуль шага зуба — t не должен превышать 15.

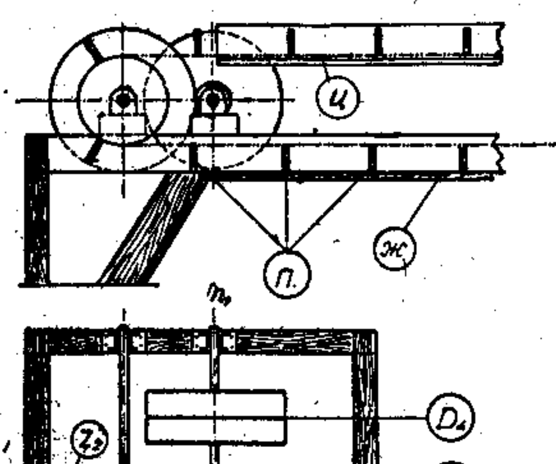


Рис. 32. Зубчатая передача опилочного транспортера.

На какой диаметр должен быть обрублен и сточен диск, бывший в употреблении и имеющий ряд сломанных зубьев?

Ответ. $D=\mu\cdot Z=15\cdot80=1200$ *мм*, $t=\pi\cdot\mu=3{,}14\cdot15=47$ *мм*.

58. Сточенные пилы обрезного станка должны быть приспособлены для работы на реечном станке. После обрубки зубьев диаметр пильного диска будет равняться 400 *мм*. Сколько зубьев должно быть насечено на пильном диске и какая величина шага зуба?

Решение. Модуль шага зуба для реечного станка (см. табл. 6) берем равным $\mu=8$, поэтому

$$Z=\frac{D}{\mu}=\frac{400}{8}=50,$$

шаг зуба

59. Определить число зубьев и шаг зуба торцовой пилы диаметром $D = 600$ *мм* при наименьшем значении модуля (μ берется из таблицы).

Ответ. $Z=100$, $t=18,8$ *мм*.

60. Определить скорость скрепкового опилочного транспортера, состоящего из цепи *Ц*, снабженной планками *П*, движущегося в легком деревянном желобе *Ж*, при следующих данных (рис. 32):

1) диаметр цепного колеса $D_ц = 320$ *мм*;
2) число зубцов зубчатой передачи $Z_1=17$, $Z_2=60$;
3) число оборотов ременного шкива $n_1=80$ об/мин.

Решение. 1) Число оборотов цепного колеса — n_2 равняется

$$n_2=i\cdot n_1,$$

где

$$i=\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{17}{60}=0,283,$$

откуда

$$n_2=0,283\cdot 80=22,6 \text{ об/мин.}$$

2) Скорость движения цепи транспортера равняется окружной скорости цепного колеса:

$$V=\pi D_ц n_2=3,14\cdot 0,32\cdot 22,6=22,7 \text{ м/мин.}$$

61. Определить скорость транспортера для бревен с одной парой зубчатых колес при следующих данных:

1) число оборотов ременного шкива в минуту $n_1=120$;
2) число зубцов колес: $Z_1=18$; $Z_2=90$.

Ответ. 22,6 *м/мин*.

62. Определить скорость транспортера для бревен с двумя парами зубчатых колес при следующих данных (рис. 31):

1) число оборотов ременного шкива в минуту $n_1=390$;
2) число зубцов колес: $Z_1=20$; $Z_2=76$; $Z_3=22$; $Z_4=86$;
3) диаметр цепного колеса $D_ц = 450$ *мм*.

Решение. 1) Число оборотов ведомого вала, на котором насажено цепное колесо, равняется

$$n_3=n_1 i=n_1\cdot\frac{Z_1\cdot Z_3}{Z_2\cdot Z_4}=\frac{390\cdot 20\cdot 22}{76\cdot 86}=390\cdot 0,067=26.$$

2) Скорость цепи транспортера равняется окружной скорости цепного колеса

$$V=\frac{\pi\cdot D_ц\cdot n_3}{60}=\frac{3,14\cdot 0,45\cdot 26}{60}=0,6 \text{ м/сек.}$$

63. Какого диаметра шкив должен быть поставлен на моторе, делающем $n = 720$ об/мин, приводящем в движение транспортер для бревна при размерах колес, указанных в предыдущем примере, и необходимости получения скорости движения цепи $V = 0,4$ *м/сек*.

D — диаметр ременного шкива транспортера 800 *мм*.

Решение. 1) Число оборотов цепного колеса n_3 при $V=0,4$ *м/сек* равняется

$$n_3=\frac{V\cdot 60}{D_ц\cdot 3,14}=\frac{0,4\cdot 60}{0,45\cdot 3,14}=17.$$

2) Из предыдущей задачи имеем, что $n_3 = n_1 \cdot i = n_1 \cdot 0{,}067$, откуда n_1 (число оборотов временного шкива транспортера) равняется

$$n_1 = \frac{n_3}{0{,}067} = \frac{17}{0{,}067} = 254.$$

3) Передаточное число ременной передачи между шкивом мотора с числом оборотов $n = 720$ и ременного шкива транспортера с числом оборотов $n_1 = 254$ равняется

$$i_p = \frac{n_1}{n} = \frac{254}{720} = 0{,}35.$$

4) Диаметр моторного шкива D равняется:

$$D = i \cdot D_1 = 0{,}35 \cdot 800 = 280 \text{ мм}.$$

64. Электромотор, делающий $n_1 = 960$ об/мин, с диаметром шкива $D_1 = 200$ *мм*, подлежит установке для привода опилочного транспортера (рис. 33), имеющего следующие размеры деталей:

1) диаметр ременного шкива транспортера $D_4 = 800$ *мм*,
2) число зубцов зубчатой передачи $Z_1 = 18$, $Z_2 = 80$,
3) диаметр цепного колеса $D_ц = 325$ *мм*.

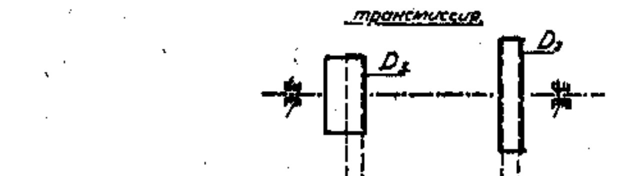


Рис. 33. Схема передачи. Задача 64.

Скорость движения транспортера не должна быть менее $V = 30$ *м/мин*.

Какого диаметра шкивы D_2 и D_3 должны быть установлены на передаточной трансмиссии, чтобы передаточные числа ременных передач $i_1 = i_2$.

Решение. 1) Число оборотов последнего ведомого цепного колеса n_4 должно равняться

$$n_4 = \frac{V}{\pi \cdot D_ц} = \frac{30}{3{,}14 \cdot 0{,}325} = 32 \text{ об/мин}.$$

2) Общее передаточное число зубчатой и ременной передач

$$i = \frac{n_4}{n} = \frac{32}{960} = \frac{1}{30} = 0{,}033.$$

3) $i=i_1 \cdot i_2 \cdot i_3=\frac{D_1 \cdot D_3 \cdot Z_1}{D_2 \cdot D_4 \cdot Z_2}=\frac{200 \cdot D_3 \cdot 18}{D_2 \cdot 800 \cdot 80}=0{,}033=0{,}055 \cdot \frac{D_3}{D_2}$;

$$\frac{D_3}{D_2}=0{,}6 \text{ и } D_3=0{,}6\,D_2.$$

4) По условию задачи имеем

$$i_1=i_2,\ \frac{D_1}{D_2}=\frac{D_3}{D_4}.$$

Подставляя вместо букв их числовые значения и заменяя $D_3=0{,}6D_2$, получим

$$\frac{200}{D_2}=\frac{0{,}6\ D_2}{800},$$

откуда

$$0{,}6\,D_2 \cdot D_2=200 \cdot 800;\ D_2^2=\frac{160000}{0{,}6}=266666,$$

$$D_2=\sqrt{266666}=515 \text{ мм}$$

и

$$D_3=0{,}6D_2=0{,}6 \cdot 515=309 \text{ мм}.$$

65. Посредством открытого ремня электромотор приводит во вращение вал I, от которого вращение посредством зубчатой передачи передается валу II (рис. 34).

Диаметр шкива мотора $D_1 = 400$ *мм* и его число об/мин $n_1 = 1800$.

Число оборотов вала II n_3 должно быть равно 170 об/мин, и передаточные числа должны быть: ременной передачи $i_1 = 0{,}47$ и зубчатой передачи $i_2 = 0{,}2$

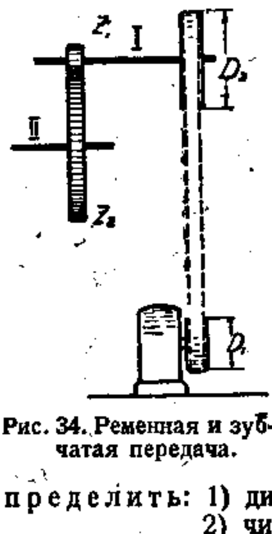


Рис. 34. Ременная и зубчатая передача.

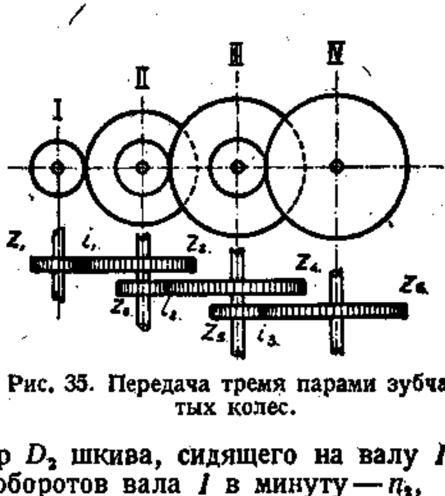


Рис. 35. Передача тремя парами зубчатых колес.

Определить: 1) диаметр D_2 шкива, сидящего на валу I,
2) число оборотов вала I в минуту — n_2,
3) число зубцов колеса Z_2, если число зу... в в шестерне $Z_1=25$.

Ответ. $D_2=840$ *мм*; $n_2=857$; $Z_2=125$.

66. Требуется посредством зубчатой передачи привести во вращение вал IV барабана от приводного вала I, делающего 384 об/мин (рис. 35).

Определить числа зубцов: Z_2, Z_4, Z_6, если дано, что передаточные числа должны быть равны $i_1 = {}^1/_4$, $i_2 = {}^1/_3$, а числа зубцов $Z_1 = 24$, $Z_3 = 30$ и $Z_5 = 30$, и вал YI делает 28 об/мин.

Ответ. $Z_2 = 96$; $Z_4 = 90$ и $Z_6 = 60$.

§ 37. Фрикционная передача. Сущность передачи с помощью двух фрикционных дисков состоит в следующем.

Большой диск a (рис. 36) при своем движении приводит в движение, благодаря трению, малый диск (шкив) b.

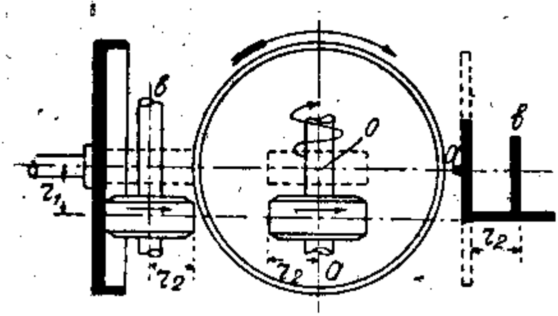


Рис. 36. Фрикционная передача.

Данная передача будет работать тем лучше, чем больше сила трения, возбуждаемая между дисками. Диски делаются оба чугунные, либо обод одного из них делается из кожи, прессованной бумаги или картона.

Передаточное число, соответствующее некоторому положению передвижного диска (шкива),

$$i = \frac{2R_1}{2R_2} = \frac{2R_1}{D_2}, \tag{30}$$

где R_1 — переменное расстояние от середины малого шкива до центра большего ведущего диска.

D_2 — диаметр ведомого колеса

$$n_2 = i \cdot n_1, \tag{31}$$

где n_2 — число оборотов ведомого шкива в минуту и n_1 — число оборотов ведущего шкива в минуту.

Из вышеприведенных формул видно, что с увеличением расстояния между центром диска и серединой малого диска (шкива) последний получает большее число оборотов.

При совпадении центра большего диска с серединой малого шкива, т. е. когда $R_1 = 0$, малый шкив останавливается.

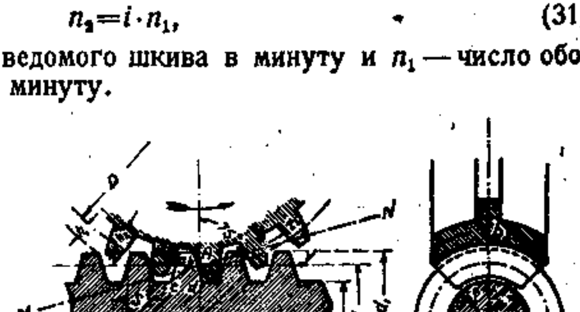


Рис. 37. Червячная передача.

При передвигании средины малого шкива по другую сторону центра диска получается вращение в обратном направлении.

§ 38. Червячная передача. Для передачи движения между скрещивающимися под прямым углом валами служит механизм, состоящий из винта (червяка) и колеса с соответствующими нарезке винта зубьями (рис. 37).

Если червяк одноходовой [1], т. е. на нем нарезана одна нитка и колесо имеет Z зубцов, то при одном обороте червяка колесо повернется на один зуб, т. е. на $\frac{1}{Z}$ часть полного оборота. Следовательно при одноходовом червяке передаточное число

$$i=\frac{1}{Z}:1=\frac{1}{Z}.$$

Если червяк двухходовой (рис. 38), то одному обороту червяка соответствует поворот колеса на 2 зуба или на $\frac{2}{Z}$ оборота. И в общем случае, когда червяк имеет m концов (ниток), передаточное число выражается:

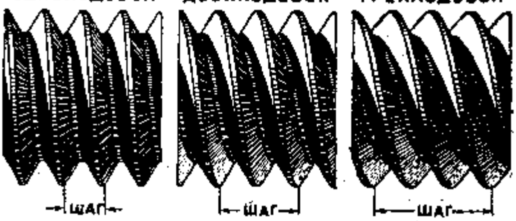


Рис. 38. Число заходов винта.

$$i=\frac{m}{Z}, \qquad (32)$$

число оборотов колеса, являющегося ведомым — n_2

$$n_2=in_1=\frac{m}{Z}\cdot n_1, \qquad (33)$$

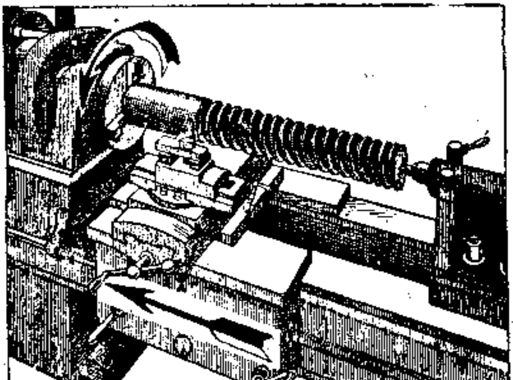


Рис. 39. Получение винтовой линии на токарном станке.

где n_1 — число оборотов червяка, являющегося ведущим.

Винтовая линия получается на токарном станке (рис. 39) при совместном движении стержня и резца: стержень, установленный между центрами, равномерно вращается, а резец передвигается вдоль стержня и нарезает на нем винтовую линию.

---

1 Чтобы определить число ходов винта, нужно посмотреть на него в торец: если одноходовой винт, то он заканчивается одним концом, двухходовой—двумя концами, трехходовой—тремя концами и т. д.

НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ. УСКОРЕНИЕ

§ 39. Приращение скорости и ускорение. Переменное движение имеет место, когда в равные промежутки времени совершаются неравные пути. Ясно из уравнения скорости

$$V=\frac{S}{t},$$

что при переменном движении постоянно меняется скорость.

Из различных переменных движений нами будут рассмотрены равномерно-ускоренное и равномерно-замедленное движение.

В общем случае равномерно-переменного движения скорость меняется равномерно, т. е. в равных промежутках времени изменение скорости составляет равные величины. Таким образом равномерно-ускоренным движением называется такое движение, при котором скорость возрастает на одинаковую величину в равные и произвольно малые промежутки времени.

Равномерно-замедленное движение происходит в том случае, когда скорость убывает.

Обозначая начальную скорость через V_0, конечную скорость через V, а время через t, получим, что приращение скорости ΔV за промежуток времени t будет равняться

$$\Delta V=V-V_0 \tag{34}$$

и, как разность двух скоростей, выраженных в *м/сек*, приращение скорости будет иметь ту же размерность (*м/сек*), как и сами сравниваемые величины конечной и начальной скорости.

Приведем пример равномерно-ускоренного движения, на котором ознакомимся с законами этого движения.

Предположим, что первоначальная скорость $V_0 = 8$ *м/сек* и под влиянием действия силы скорость равномерно увеличилась через 5 сек. до $V = 18$ *м/сек*.

Приращение скорости за 5 сек. будет:

$$V-V_0=18\ м/сек-8\ м/сек=10\ м/сек$$

и за каждую секунду скорость возрастала на $10/5=2$ *м/сек*, поэтому

в конце	первой	секунды	скорость была	$8+2=10$	*м/сек*
»	второй	»	»	$10+2=12$	»
»	третьей	»	»	$12+2=14$	»
»	четвертой	»	»	$14+2=16$	»
»	пятой	»	»	$16+2=18$	»

Это увеличение скорости в одну секунду называется ускорением и обозначается буквой j, поэтому

$$j=\frac{V-V_0}{t}. \tag{35}$$

Размерность ускорения отношения приращения скорости *м/сек* ко времени в сек. будет иметь следующий вид:

м/*сек* : сек. или *м/сек*^{2} и читается: метров на секунду в квадрате.

За единицу ускорения принимается ускорение такого равномерно-ускоренного движения, в котором скорость точки увеличивается на единицу в каждую единицу времени.

§ 40. Зависимость между пройденным путем, временем, скоростью и ускорением в равно-переменном движении. Из формулы (35) имеем:

$$V=V_0+j\cdot t.$$

Если даны скорость и ускорение, то по ним нужно определить путь, пройденный телом при равномерно-переменном движении.

Положим, автомобиль движется равномерно-ускоренно; начальная его скорость $V_0=3$ *м/сек* и конечная скорость $V=13$ *м/сек* через время $t=1250$ сек.

Если бы автомобиль двигался равномерно со скоростью 3 *м/сек*, то за 1 250 сек. он прошел бы путь $S = 1250\cdot 3 = 3750$ *м*, а если бы движение автомобиля совершалось с конечной скоростью 13 *м/сек*, то за 1 250 сек. он прошел бы путь $S = 1250\cdot 13 = 16250$ *м*. Ясно, что и первая и вторая величины не являются величинами действительно пройденного пути.

Так как скорость возрастает равномерно от V_0 до V, то автомобиль пройдет столько же, сколько бы он прошел с постоянной скоростью, если бы эта скорость была средней арифметической между V_0 и V. И действительно,

$$S=\frac{V_0+V}{2}\cdot t,$$

и в данном случае

$$S=\frac{3+13}{2}\cdot t=8\cdot 1250=10000 \text{ м}=10 \text{ км}.$$

Подставляя в последнюю формулу

$$V=V_0+j\cdot t,$$

получим:

$$S=\left(\frac{V_0+V_0+j\cdot t}{2}\right)\cdot t=V_0\cdot t+\frac{j\cdot t^2}{2}.$$

При равномерно-замедленном движении секундное уменьшение скорости называется **замедлением** j, и поэтому скорость в t сек. уменьшается на $j\cdot t$; значит конечная скорость V будет на $j\cdot t$ меньше начальной скорости V_0 и

$$V_0-V=j\cdot t$$

или

$$V=V_0-j\cdot t$$

и

$$S=V_0\cdot t-\frac{j\cdot t^2}{2}.$$

Формулы для равномерно-замедленного движения отличаются от формул для равномерно-ускоренного только тем, что перед членами, в которых имеется величина ускорения j, вместо плюса стоит минус, и поэтому можно написать общую формулу:

$$\boxed{V=V_0\pm j\cdot t} \qquad (36)$$

$$\boxed{S=V_0\cdot t\pm\frac{j\cdot t^2}{2}} \qquad (37)$$

При решении задач на ускоренное движение берется знак $+$, при замедленном движении берется знак $-$. При отсутствии начальной скорости или $V_0 = 0$ формулы получат при ускоренном движении упрощенный вид:

$$\boxed{V=j\cdot t} \qquad (38)$$

$$\boxed{S=\frac{j\cdot t^2}{2}} \qquad (39)$$

Для получения формулы, показывающей зависимость пройденного пути от скорости конечной и ускорения, можно из формулы (38) $V=j\cdot t$ определить t, которое равняется: $t=\frac{V}{j}$.

Подставив это значение в формулу (39), получим:

$$S=\frac{j}{2}\left(\frac{V}{j}\right)^2=\frac{j\cdot V^2}{2\cdot j^2},$$

откуда

$$\boxed{S=\frac{V^2}{2j}} \qquad (40)$$

Определяя из этой формулы скорость, получим

$$V^2=2S\cdot j$$

или

$$V=\sqrt{2jS}. \qquad (41)$$

Из формулы 41 определяем ускорение

$$j=\frac{V^2}{2S}. \qquad (42)$$

§ 41. Примеры и задачи. 67. Железнодорожный поезд имеет начальную скорость $V_0=6$ *м/сек* и конечную скорость $V=12$ *м/сек* по истечении 5 сек.

Определить ускорение.

Ответ. 1,2 *м/сек*^{2}.

68. Трамвай, двигаясь от остановки равномерно-ускоренно, прошел в одну минуту 300 *м*. Определить ускорение j и конечную скорость V.

Решение. 1) Из формулы

$$S=\frac{j\cdot t^2}{2}$$

определяем:

$$j=\frac{2\cdot S}{t^2}=\frac{2\cdot 300}{60^2}=0{,}17\ м/сек^2.$$

2) По формуле

$$V=j\cdot t=0{,}17\ м/сек^2\times 60\ сек.=10{,}2\ м/сек.$$

69. Поезд, имеющий начальную скорость 16 *м/сек*, двигается равномерно-замедленно вверх по уклону с замедлением $j=0{,}06$ *м/сек*^{2}; при этом скорость его падает до 4 *м/сек*. Определить расстояние, пройденное поездом.

Решение. 1) Из уравнения (36)

$$V=V_0-j\cdot t$$

имеем

$$j\cdot t=V_0-V \text{ и } t=\frac{V_0-V}{j}=\frac{16-4}{0{,}06}=200\ сек.$$

2) По формуле

$$S=V_0\cdot t-\frac{j\cdot t^2}{2}=16\cdot 200-\frac{0{,}05\cdot 200^2}{2}=2200\ м.$$

70. Тело в некоторый момент обладает скоростью 20 *м/сек;* каково должно быть замедление, чтобы скорость через $1^1/_2$ мин. стала бы в четыре раза меньше.

Ответ. $j=0{,}166$ *м/сек*^{2}.

71. Паровоз, движущийся со скоростью 15 *м/сек*, должен быть остановлен торможением на расстоянии 900 *м*. Определить замедление, происшедшее от торможения, и время с момента торможения до полной остановки паровоза.

Решение. 1) По задаче 69 имеем:

$$j\cdot t=V_0-V=15-0,$$

так как в конце промежутка времени паровоз остановится и скорость его будет равняться 0. По формуле имеем:

$$S=V_0t-\frac{j\cdot t^2}{2}=15\cdot t-\frac{j\cdot t\cdot t}{2}.$$

Подставляя в эту формулу $S=900$ *м* и $jt=15$, получим:

$$900=15\cdot t-\frac{15\,t}{2}=\frac{15}{2}\,t,$$

откуда

$$t=\frac{900\cdot 2}{15}=120 \text{ сек.}$$

2) Ускорение

$$j=\frac{V_0-V}{t}=\frac{15}{120}=0,125 \ м/сек^2.$$

Эту задачу можно проще решить по формуле (42).

72. В спокойной воде озера бревно под влиянием данного ему толчка двигалось в течение 20 сек., причем по наблюдениям по хронометру в первую секунду бревно прошло 3 *м*. Определить замедление и путь, пройденный бревном.

Решение 1) В первую секунду начальная скорость бревна $V_0=3 \ м/сек$, и по истечении 20 сек. скорость упала до 0 (бревно остановилось), поэтому по формуле (36) имеем:

$$V=V_0-j\cdot t$$

(ставим знак —, так как движение равно - замедленное).

$$0=3-j\cdot 20,$$

откуда

$$j=\frac{3}{20}=0,15 \ м/сек^2.$$

2) По формуле

$$S=V_0\cdot t-\frac{jt^2}{2}=3\cdot 20-\frac{0,15\cdot 20^2}{2}=60-30=30 \ м.$$

73. Паровоз, выходя из состояния покоя, в первую минуту проходит 450 *м*, достигнув при этом желательной скорости. Определить ускорение и конечную скорость.

Ответ. $j=\frac{1}{4} \ м/сек^2$; $V=15 \ м/сек$.

74. Катящийся по горизонтальной плоскости шар имеет начальную скорость $V_0=6 \ м/сек$. Определить продолжительность движения шара, если встречающиеся препятствия равномерно замедляют его движение и замедление $j=0,03 \ м/сек^2$.

Ответ. $t=3$ мин. 20 сек.

75. Поезд, имеющий начальную скорость $V_0=30$ *км* в час, пошел под уклон, начал двигаться равномерно - ускоренно и достиг через 4 мин. скорости $V=42$ *км* в час.

Определить ускорение и путь, пройденный за 4 мин.

Решение. 1) Ускорение

$$j=\frac{V-V_0}{t},$$

$$V=42 \ км/час=\frac{42000}{60\cdot 60}=11,6 \ м/сек; \ V_0=\frac{30000}{60\cdot 60}=8,3 \ м/сек,$$

$$j=\frac{11,6-8,3}{4\cdot 60}=\frac{3,3}{240}=0,0137 \ м/сек^2.$$

2) Путь равен

$$V_0t+\frac{j\cdot t^2}{2}=8,3\cdot 240+\frac{0,0137\cdot 240^2}{2}=1992+394=2396 \ м.$$

76. Тело движется из состояния покоя с ускорением 3 *м/сек*². Определить скорость его по истечении 5 сек.

Ответ. $V=15$ *м/сек.*

§ 42. Законы падения тел. Ускорение силы тяжести. Выведенные законы равномерно-переменного движения применимы к разрешению вопросов, касающихся свободного падения тел с высоты, и движению тела, брошенному вверх вертикально. Свободным падением называют падение тел под действием только силы тяжести при отсутствии всяких сопротивлений.

Ускорение в данном случае обозначается буквой g и, как вызванное силой тяжести, носит название — ускорение силы тяжести.

Основные формулы для случая свободного падения принимают следующий вид:

$$\boxed{V=g\cdot t} \tag{43}$$

$$\boxed{h=\frac{gt^2}{2}} \tag{44}$$

$$\boxed{h=\frac{V^2}{2g} \quad \text{и} \quad V=\sqrt{2g\cdot h}} \tag{45}$$

где h — высота в *м*, с которой тело падает, V — скорость в *м/сек* и t — время в сек.

Опытное исследование, которое может быть проведено различными способами, доказывает правильность вышеприведенных формул.

Ускорение силы тяжести, в случае свободного падения тел, будет для данного места величиной постоянной, независимо от веса тел—будет ли оно тяжелым или легким.

Опыты показали, что путь, проходимый падающим телом в первую секунду, приблизительно равен 4,9 *м*.

На основании этого мы можем по формулам определить численную величину ускорения силы тяжести.

Действительно, по формуле пройденного пути имеем

$$h=\frac{g\cdot t^2}{2}.$$

Для $t=1$ сек. и $h=4{,}9$ *м* получим

$$4{,}9=\frac{g\cdot 1^2}{2},$$

откуда $g=9{,}81$ *м/сек*².

Итак, ускорение силы тяжести $g=9{,}81$ *м/сек*² и численная его величина равняется двойному пройденному пути в течение первой секунды падения.

Если тело брошено вверх по вертикали с начальной скоростью V_0, то оно движется равно-мерно замедленно с замедлением $g=9{,}81$ *м/сек*.

Для этого случая, пользуясь общими формулами равно-замедленного движения, находим, что конечная скорость

$$\boxed{V=V_0-g\cdot t} \tag{46}$$

и высота подъема тела в течение времени t составляет:

$$\boxed{h=V_0t-\frac{g\cdot t^2}{2}} \tag{47}$$

На практике высоты падения невелики и сопротивление воздуха незначительно, так что приведенные формулы могут быть применены без особых погрешностей.

§ 43. Примеры и задачи. 77. Определить высоту пятиэтажного дома, если известно, что камень с крыши этого дома падает на землю в 2 сек.

Ответ. $h=19{,}6$ *м.*

78. Если кирпич отломался от верхушки трубы в 20 *м* высотою, то в какое время он достигнет земли?

Ответ. $t=1{,}4$ сек.

79. Какую скорость приобретет тело, упав с высоты 200 *м*, и как велико время падения?

Ответ. $V=63$ *м/сек*, $t=6{,}3$ сек.

80. Определить скорость тела, брошенного вверх с начальной скоростью $V=200$ *м/сек*, в конце пятнадцатой секунды и время движения тела вверх.

Решение. 1) По формуле

$$V=V_0-g\cdot t,$$
$$V=200-9{,}81\cdot 5=53\ м/сек.$$

2) В конце движения V (скорость) уменьшается до 0 и тело падает вниз, поэтому

$$V=V_0-g\cdot t;\ 0=200-9{,}81\cdot t$$

$$t=\frac{200}{9{,}81}=21\ сек.$$

81. Баба свободно падает с высоты 3,7 *м*, а время подъема ее равно тройному времени ее падения. Определить 1) время ее падения и 2) сколько ударов она делает в минуту?

Решение.

$$1)\quad h=\frac{g\cdot t^2}{2};\ 3{,}7=\frac{9{,}81\cdot t^2}{2};\quad t^2=\frac{3{,}7\cdot 2}{9{,}81}=\frac{7{,}4}{9{,}81}=0{,}75$$

$$и\ t=\sqrt{0{,}75}=0{,}85\ сек.$$

Определить, сколько ударов делает баба в мин, по услов. зад. 81.

2) Время подъема равняется $3\cdot t=3\cdot 0{,}85=2{,}55$, и поэтому время, потребное на один удар, равняется: $0{,}85+2{,}55=3{,}4$ сек. и число ударов в минуту равно:

$$n=\frac{60}{3{,}4}=17\ ударам.$$

82. С горы высотою 20 *м* и длиной 400 *м* спускается по рельсам вагонетка, причем рельсы вагонетки пересекают путь трамвая, проложенного внизу горы. Произойдет ли столкновение вагонетки с трамваем, если трамвай идет с постоянной скоростью 4 *м/сек* и в момент начала спуска находится от места пересечения на расстоянии 200 *м*. Трение колес вагонетки о рельсы в расчет не принимать.

Решение. По формуле имеем

$$h=\frac{g\cdot t^2}{2}.$$

Для определения времени падения по вертикальному направлению из формулы определяем время

$$t^2=\frac{2h}{g}=\frac{2\cdot 20}{9{,}81}=4,$$

откуда

$$t=\sqrt{4}=2 \text{ сек.}$$

Время скатывания тележки с горы получается умножением двух секунд на отношение длины горы к высоте — $\frac{400}{20}=20$.

Итак, вагонетка с горы скатится через 40 сек.

В какой же промежуток времени трамвай пройдет путь $S=200$ *м* при $V=4$ *м/сек*?

Из формулы

$$t=\frac{V}{S}$$

находим

$$t=\frac{200}{4}=50 \text{ сек.}$$

Отсюда находим, что столкновения не произойдет, так как вагонетка придет к месту пересечения раньше трамвая на 10 сек.

83. Бревно падает со штабеля высотою 12 *м*. Определить, в какое время оно достигнет земли и конечную скорость.

Решение.

1) $$h=\frac{g\cdot t^2}{2},$$

откуда

$$t^2=\frac{2h}{g}=\frac{12\cdot 2}{9{,}81}=2{,}43 \text{ сек.},$$

$$t=\sqrt{2{,}43}=1{,}6 \text{ сек.}$$

2) $$V=g\cdot t=9{,}81\cdot 1{,}6=15{,}7 \text{ м/сек.}$$

84. Бревно спускается со штабеля по наклонной линии длиной 30 *м*. Определить высоту штабеля и время, потребное на спуск бревна, если известно, что конечная скорость последнего равняется 12 *м/сек*.

Решение.

1) $$h=\frac{V^2}{2g}=\frac{12\cdot 12}{2\cdot 9,81}=7,5\,м.$$

2) Время падения по вертикальному направлению

$$t=\frac{V}{g}=\frac{12}{9,81}=1,2 \text{ сек.}$$

Время скатывания бревна по наклонной линии получается умножением 1,2 сек. на отношение длины наклонной линии к высоте

$$\frac{30}{7,5}=4.$$

Итак, бревно скатится через $1,2\cdot 4 = 4,8$ сек.

85. Определить:

1) скорость, с которой выбрасывается артиллерийский снаряд из дула орудия, если известно, что длина пути снаряда в орудийном канале равна 1,84 *м* и ускорение, испытываемое от действия пороховых газов, равняется 98 000 *м/сек²*.

2) Скорость дождевой капли в момент удара о землю, если бы она падала с высоты 9 000 *м*, не встречая сопротивления воздуха.

На сколько скорость снаряда больше скорости дождевой капли?

Решение. 1) Скорость снаряда:

$$V=j\cdot t=98000\cdot t, \quad (A)$$

$$S=\frac{j\cdot t^2}{2}=\frac{V\cdot t}{2}; \quad 1,84=\frac{V\cdot t}{2}; \quad t=\frac{3,68}{V}.$$

Подставляя последнее выражение в формулу (А), получим:

$$V=\frac{98000\cdot 3,68}{V}; \quad V^2=3600000,$$

откуда:

$$V=\sqrt{360000}=600 \text{ м/сек.}$$

2) Скорость дождевой капли:

$$V=\sqrt{2g\cdot h}=\sqrt{2\cdot 9,81\cdot 9000}=420 \text{ м/сек.}$$

Отсюда мы видим, что скорость дождевой капли не намного разнится от разрушительной скорости снаряда.

Но сопротивление воздуха защищает нас от бомбардировки дождевых капель, ограничивая скорость их максимально 8 *м/сек*.

§ 44. Законы движения кривошипно-шатунной передачи, при которой равномерное движение преобразуется в неравномерное. Сущность передачи движения кривошипно-шатунным механизмом нами в кратких чертах изложена выше (стр. 15).

Теперь же мы при помощи графического метода покажем наглядно, что кривошипно-шатунный механизм преобразует равномерное движение в неравномерное.

Возьмем для примера движение кривошипно-шатунного механизма лесопильной рамы со следующими данными:

радиус кривошипа $R=250$ *мм*, длина шатуна $L=10R=2500$ *мм*, число оборотов кривошипа в минуту $n=300$.

Следует определить скорость движения пильной рамы.

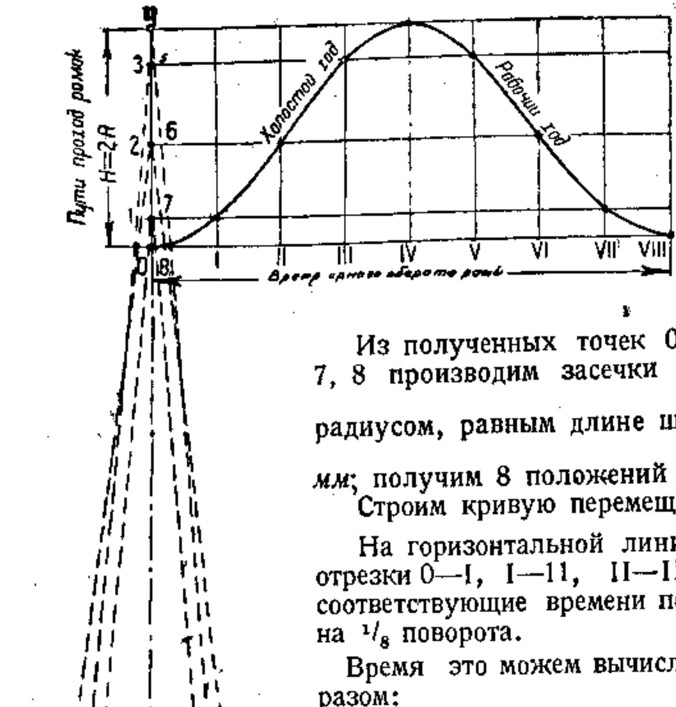


Рис. 40. График кривошипно-шатунной передачи лесопильной рамы.

Разделим окружность, описываемую пальцем кривошипа при одном обороте, на 8 равных частей; в выбранном нами масштабе 1 *мм* на чертеже равен 10 *мм* в натуре (масштаб $^1/_{10}$) (рис. 40).

Из полученных точек 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 производим засечки по средней линии радиусом, равным длине шатуна $\frac{2500}{10} = 250$ *мм*; получим 8 положений пильной рамы.

Строим кривую перемещений.

На горизонтальной линии отложим равные отрезки 0—I, I—II, II—III, III—IV и т. д., соответствующие времени поворота кривошипа на $^1/_8$ поворота.

Время это можем вычислить следующим образом:

За одну минуту делается 300 оборотов, следовательно один оборот делается в течение $\frac{1\cdot60}{300}=0{,}2$ сек., для поворота на $^1/_8$ оборота затрачивается $0{,}2:8=0{,}025$ сек.

По вертикальным же линиям откладываем величину путей, проходимых рамой за соответствующие промежутки времени. Так, например за отрезок времени 0-I, равный $t_1 = 0{,}025$ сек., путь пильной рамы 0-I по масштабу равен 13% от хода рамы и $S_1 = 0{,}13\cdot500=65$ *мм*; за отрезок времени I-II, равный также $t_2 = 0{,}025$ сек., путь пильной рамы 1-2 по масштабу равен 34% от хода рамы и $S_2=0{,}34\cdot500=170$ *мм* и т. д.

Итак, пути, проходимые рамой за равные промежутки времени в том же масштабе, переносим со средней линии на вертикальные линии, проведенные с горизонтальной линии отрезков времени.

В результате получим при движении рамы вверх и вниз ряд точек, которые соединяем и получаем кривую, называемую кривой перемещения. Из этой кривой ясно видно, что пути, проходимые рамой за равнпромежутки времени, не равны между собой, следовательно и средние скорости в каждый момент не равны.

Действительно, средние скорости:

1. За отрезок времени

$$0\text{-I} — V_1 = \frac{S_1}{t} = \frac{65}{0{,}025} = 2{,}6 \ \text{м/сек.}$$

2. За отрезок времени

$$\text{I-II} — V_2 = \frac{S_2}{t} = \frac{170}{0{,}025} = 6{,}8 \ \text{м/сек.}$$

Подсчитав таким же образом все остальные средние скорости движения рамы, мы получим нижеследующую таблицу (табл. 7);

Таблица 7

Движение рамы	Отрезки времени	t—время в сек.	Отрезки пути рамы	S—длина пути рамы % к ходу	S—длина пути рамы в *мм*	Скорости средние $V = \frac{S}{t}$ м/с	
Рама идет вверх (холостой ход)	0-I	0,025	0-1	13	65	2,6	В мертвых точках скорость пильной рамы равняется нулю
	I-II	0,025	1-2	34	170	6,8	
	II-III	0,025	2-3	37	185	7,4	
	III-IV	0,025	3-4	16	80	3,2	
Рама идет вниз (рабочий ход)	IV-V	0,025	4-5	16	80	3,2	
	V-VI	0,025	5-6	37	185	7,4	
	VI-VII	0,025	6-7	34	170	6,8	
	VII-VIII	0,025	7-8	13	65	2,6	

Из всего вышеуказанного видно, что кривошип вращается равномерно (в данном случае один оборот совершется в течение 0,2 сек.), в то время как пильная рама движется прямолинейно-возвратно с различной непостоянной скоростью, колеблющейся от 0 до 7,4 *м/сек.*

Итак, кривошипно-шатунный механизм преобразует равномерно-вращательное движение в неравномерно-возвратно-поступательное движение, причем при переходе кривошипа через мертвые точки ведомое звено (пильная рама, ползун) меняет направление движения, и скорости его в мертвых точках равняются нулю.

Изменение скорости прямолинейного движения пильной рамы, как по величине, так и по направлению, вызывает ускорение и замедление, которые при значительном весе движущихся масс обусловливают действие сил инерции.

Эти значительные силы при кривошипно-шатунном механизме вызывают **большие напряжения** во всех частях привода лесопильной рамы. В частности коренные подшипники воспринимают большое давление, а изменение величины и направления действия сил вызывает удары в подшипниках.

Колебания величин скоростей резания также являются отрицательными чертами кривошипно-шатунной передачи.

Все вышеуказанные обстоятельства не позволяют в лесопильных рамах получить большие скорости резания.

УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ И УГЛОВОЕ УСКОРЕНИЕ

§ 45. Угловая скорость. Возьмем на радиусе колеса две точки A и B. Пусть через секунду точка A займет положение точки A_1, а радиус OA, повернувшись на угол, займет положение OA_1 (рис. 41).

Колесо делает n оборотов в минуту, каждая его точка будет описывать окружность с центром на оси вращения.

Точка A описывает круг с радиусом R_1, равным расстоянию точки А до центра.

Окружная скорость этой точки A

$$V_1 = \frac{2\pi \cdot R_1 \cdot n}{60}.$$

Совершенно так же найдем скорость точки B.

$$V_2 = \frac{2\pi \cdot R_2 \cdot n}{60}.$$

Берем отношение линейных скоростей, получим:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{2\pi \cdot R_1 \cdot n}{2\pi \cdot R_2 \cdot n},$$

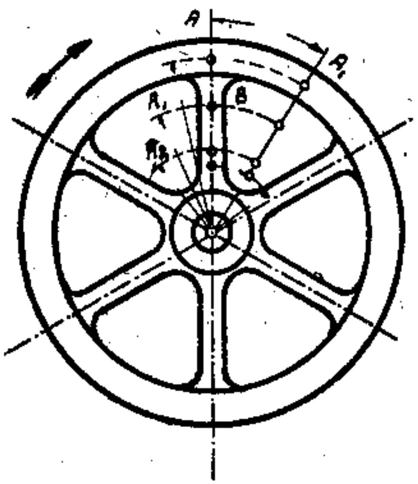


Рис. 41. Угол поворота.

произведя сокращение на $2\pi n$, получим:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

или

$$\frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{R_2},$$

т. е. отношение линейной (окружной) скорости точки к ее расстоянию от центра есть величина постоянная.

Эта постоянная величина называется угловой скоростью и обозначается обыкновенно греческой буквой ω (омега).

Таким образом

$$\omega = \frac{V}{R}, \tag{48}$$

и следовательно

$$V = R \cdot \omega. \tag{49}$$

т. е. скорость какой-либо точки вращающегося тела равна угловой скорости, умноженной на расстояние этой точки до оси вращения.

Из вышеизложенных формул явствует, что окружные скорости для различных точек вращающегося тела различны по величине, тогда как угловая скорость — постоянная величина для всех точек.

Так как скорость в *м/сек*

$$V=\frac{\pi\cdot R\cdot n}{30}, \quad \text{то} \quad \omega=\frac{V}{R}=\frac{\pi\cdot n}{30}=0{,}1047\,n \tag{50}$$

Следовательно угловая скорость зависит только от числа оборотов и общая для всех точек.

Если известна угловая скорость, то из формулы (50) можно найти число оборотов

$$n=\frac{30\cdot\omega}{\pi}=9{,}549\,\omega. \tag{51}$$

§ 46. Единица угловой скорости. Угловая скорость измеряется тем углом поворота, какой произойдет за единицу времени.

Выше было указано, что при перемещении точки A в A_1 радиус OA поворачивается на угол α, и длина дуги, описываемой точкой A, равняется

$$\smile S\,м=\alpha R\,м.$$

Углы при вращении выражаются не в градусах, а в радианах. Единицей углов будет центральный угол α, длина дуги которого равна радиусу.

Определяем величину радиана.

Так как длина полной окружности равна $2\pi R$ и содержит $360°$, то длина дуги, равная радиусу, укладывается в окружности 2π раз или приблизительно 6,28 раз ($\pi=3{,}14$), и следовательно дуга, равная радиусу, содержит

$$\frac{360°}{6{,}28}=57{,}3°.$$

Радиан является отвлеченной мерой угла, так как по предыдущему $\alpha=\dfrac{\smile S\,м}{R\,м}$ число отвлеченное, не имеющее никакой разномерности по отношению к основным единицам мер.

Итак, за единицу угловой скорости принимают угловую скорость такого равномерного вращения, при котором тело поворачивается на один радиан (57,30°) в одну секунду.

Определим теперь размерность угловой скорости ω при равномерном вращении.

$$\omega=\frac{V}{R}, \quad \text{но} \quad V=\frac{S}{t}$$

т. е. скорость какой-либо точки вращающегося тела равна угловой скорости, умноженной на расстояние этой точки до оси вращения.

Из вышеизложенных формул явствует, что окружные скорости для различных точек вращающегося тела различны по величине, тогда как угловая скорость — постоянная величина для всех точек.

Так как скорость в *м/сек*

$$V=\frac{\pi\cdot R\cdot n}{30}, \text{ то } \omega=\frac{V}{R}=\frac{\pi\cdot n}{30}=0{,}1047\,n \tag{50}$$

Следовательно угловая скорость зависит только от числа оборотов и общая для всех точек.

Если известна угловая скорость, то из формулы (50) можно найти число оборотов

$$n=\frac{30\cdot\omega}{\pi}=9{,}549\,\omega. \tag{51}$$

§ 46. Единица угловой скорости. Угловая скорость измеряется тем углом поворота, какой произойдет за единицу времени.

Выше было указано, что при перемещении точки A в A_1 радиус OA поворачивается на угол α, и длина дуги, описываемой точкой A, равняется

$$\smile S\,м=\alpha R\,м.$$

Углы при вращении выражаются не в градусах, а в радианах. Единицей углов будет центральный угол α, длина дуги которого равна радиусу.

Определяем величину радиана.

Так как длина полной окружности равна $2\pi R$ и содержит 360°, то длина дуги, равная радиусу, укладывается в окружности 2π раз или приблизительно 6,28 раз ($\pi=3{,}14$), и следовательно дуга, равная радиусу, содержит

$$\frac{360^\circ}{6{,}28}=57{,}3^\circ.$$

Радиан является отвлеченной мерой угла, так как по предыдущему $\alpha=\frac{\smile S\,м}{R\,м}$ число отвлеченное, не имеющее никакой разномерности по отношению к основным единицам мер.

Итак, за единицу угловой скорости принимают угловую скорость такого равномерного вращения, при котором тело поворачивается на один радиан (57,30°) в одну секунду.

Определим теперь размерность угловой скорости ω при равномерном вращении.

$$\omega=\frac{V}{R}, \text{ но } V=\frac{S}{t}$$

и поэтому

$$\omega = \frac{S}{t} : R = \frac{\frac{S м}{R м}}{t\ сек} = \left[\frac{\frac{S}{R}}{t}\right]\frac{1}{сек}.$$

Итак, мы видим, что численное значение угловой скорости меняется только при изменении единиц времени и находится в зависимости от других единиц мер.

При заданной нам единице углов в радианах размер угловой скорости обязательно нужно писать в наименовании $\left(\frac{1}{сек.}\text{ или }\frac{рад.}{сек.}\right)$.

Если же за угловую единицу взят угловой радиус (1°) (при градусном измерении углов основной единицей служит прямой угол, $^1/_{90}$ часть этого угла дает нам один угловой градус), то угловая скорость изменяет свое числовое значение.

Так например $\omega = 5\ \frac{рад.}{сек}$; при единице углов

1 градус: $\omega = 5\frac{\frac{180}{\pi}}{сек.} = \frac{900}{\pi}\ \frac{град.}{сек}$

§ 47. Примеры и задачи. 86. Какую угловую скорость имеет пильный диск при 1 000 об/мин.

Ответ. 104 *рад/сек.*

87. Какую окружную скорость имеет точка пильного диска, удаленная на 0,5 *м* от центра, и точка, удаленная на 0,3 *м* от центра, если угловая скорость диска 125,6 *рад/сек?*

Решение. По формуле (49) окружная скорость I точки:

$$V_1 = \omega \cdot R_1 = 125{,}6 \cdot 0{,}5 = 62{,}8\ м/сек.$$

Окружная скорость II точки:

$$V_2 = \omega \cdot R_2 = 125{,}6 \cdot 0{,}3 = 37{,}7\ м/сек.$$

88. Угловая скорость $\omega = 700$ *рад/мин.* Определить окружную скорость V *м/сек* при $R = 750$ *мм.*

Решение. $V = \omega \cdot R$.

При V *м/сек* ω должно быть выражено в *рад/сек* и R в *м*, так как проверка размерности даст

$$V\ м/сек = \omega\ рад/сек\ R м = (\omega \cdot R)\ м/сек,$$

и поэтому

$$V = \frac{700}{60} \cdot \frac{750}{1000} = 8{,}7\ м/сек.$$

89. Определить угловую скорость вала лесопильной рамы, делающей 290 об/мин, и вала круглой пилы, делающего 1 800 об/мин.

Решение. Пользуемся формулами (50):

1) Для вала лесопильной рамы:

$$\omega = 0{,}1047 \cdot n = 0{,}1047 \cdot 300 = 31{,}4\ рад/сек.$$

откуда

$$R=\frac{1250}{2\cdot 3,14}=200\ м.$$

2) Окружная скорость

$$V=\omega\cdot R=220\cdot 0,2=44\ м/сек.$$

Число оборотов пильного вала

$$n=\frac{60\cdot V}{3,14\cdot D}=\frac{60\cdot 44}{3,14\cdot 0,4}=2100.$$

3) Подача на один зуб

$$\delta=\frac{U}{n\cdot Z}=\frac{0,3\cdot 60\cdot 1000}{2100\cdot 50}=0,17\ мм.$$

§ 48. Ускорение во вращательном движении. *Равно-ускоренное вращение.* Равномерно-ускоренным вращением называется такое вращение, при котором угловая скорость возрастает на одинаковую величину в равные и произвольно-малые промежутки времени.

Угловым ускорением мы называем отношение приращения угловой скорости к соответствующему промежутку времени.

Так как при вращательном движении все исследования угловых ускорений аналогичны с равномерно-прямолинейным движением, то мы воспользуемся выведенными формулами для равно-ускоренного движения без начальной скорости:

Скорость $V=j\cdot t.$

Путь $S=\frac{j\cdot t^2}{2}.$

Для равно-ускоренного вращения по аналогии получим:

Угловая скорость

$$\boxed{\omega=\Theta\cdot t} \qquad (52)$$

Угол поворота

$$\boxed{\varphi=\frac{\Theta\cdot t^2}{2}} \qquad (53)$$

где Θ будет угловое ускорение, выраженное в *рад/сек*², так как

$\Theta=\omega$ *рад/сек* : t сек. $=\frac{\omega}{t}\ \frac{рад}{сек\cdot сек}.$

Для равномерно-переменного вращения с начальной скоростью — ω_0 имеем:

$$\boxed{\begin{aligned}\omega&=\omega_0\pm\Theta\cdot t \qquad (54)\\ \varphi&=\omega_0\cdot t\pm\frac{\Theta t^2}{2} \qquad (55)\end{aligned}}$$

Если угловое ускорение Θ будет положительно, то мы будем иметь равно-ускоренное, а при отрицательном Θ—равно-замедленное вращение.

§ 49. Примеры и задачи. 98. Определить угловое ускорение пильных дисков обрезного станка, делающего 1 800 об/*мин*, если известно, что для полного прекращения движения пильного диска необходимо 1,5 мин.

Предполагаем, что движение дисков равно-замедленное.

Решение. Для определения углового ускорения пользуемся формулой:

$$\omega=\omega_0-\Theta t,$$

конечная угловая скорость $\omega=0$, так как пильный вал останавливается, ω_0—начальную угловую скорость, когда вал делает 1 800 об/мин, определяем по формуле (50) (стр. 81):

$$\omega_0=\frac{\pi\cdot n}{30}=\frac{3,14\cdot1800}{30}=188,4 \text{ рад/сек.}$$

Подставляя полученные данные и $t=1,5\cdot60=90$ сек. в приведенную формулу, получим:

$$0=188,4-\Theta\cdot90,$$

откуда

$$\Theta=\frac{188,4}{90}=2,1 \text{ рад/сек.}^2$$

99. Определить, сколько оборотов сделает пильный вал до полной остановки при всех данных прошлой задачи.

По формуле (55) имеем величину поворотов в радианах:

$$\varphi=\omega_0\cdot t-\frac{1}{2}\Theta\cdot t^2=184,4\cdot90-\frac{2,1\cdot90^2}{2}=8091 \text{ рад.}$$

Так как в полном обороте будет заключаться $2\pi=6,28$ радиан, то число оборотов, которое вал сделает в течение 1,5 мин. до полной остановки, будет равняться:

$$n=\frac{8091}{6,28}=1280 \text{ оборотам.}$$

100. Вал лесопильной рамы со шкивом A диаметром $D_2=1000$ *мм* приводится в движение ремнем от шкива B диаметром $D_1=1500$ *мм.* Определить, через сколько времени вал рамы будет делать 300 об/мин., если известно, что угловое ускорение шкива B $\Theta=2,0$ *рад/сек*^{2} и, предполагая, что его движение было равно-ускоренным.

Решение. 1) Угловая скорость шкива B

$$\omega_1=\Theta\cdot t=2\cdot t \text{ рад/сек.}$$

Окружная скорость этого же шкива будет

$$V_1=\omega_1\cdot R_1=2\cdot t\cdot\frac{1,5}{2}=1,5\, t \text{ м/сек.}$$

2) Окружная скорость рамного шкива, радиусом $R_2=\frac{1}{2}=0,5$ *м*,

равняется окружной скорости ведомого шкива B:

$$V_2=\omega_2\cdot R_2=1{,}5\cdot t\ м/сек,$$

откуда угловая скорость

$$\omega_2=\frac{1{,}5\cdot t}{0{,}5}=3t\ рад/сек.$$

3) По формуле (51) (стр. 81) имеем $n=9{,}549\,\omega$, откуда и узнаем, что для угловой скорости, равной $3\cdot t$ *рад/сек*, необходимо, чтобы шкив делал следующее число оборотов в минуту:

$$n=9{,}549\cdot 3\cdot t=29\cdot t.$$

В указанную формулу входит время t, в течение которого мы можем достигнуть необходимое нам число оборотов, и для данной задачи мы находим, что вал рамы начнет давать 300 об/мин через время

$$t=\frac{300}{29}=10\ сек.$$

ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ПЕРЕДАЧ К РАСЧЕТУ СТАНКОВ

В этой главе нами будет разобрано применение основных законов передач к расчету подающих механизмов некоторых лесопильных станков.

§ 50. Расчет подающего механизма круглопильного станка для продольной распиловки бревен. На рис. 42 дана схема подающего механизма круглопильного станка для продольной распиловки бревен, представляющая систему зубчатых передач с барабаном, на который навивается трос, и ременных передач.

Передача осуществляется следующим образом:

На пильном валу I насажены два шкива: A—диаметром D_1 и A_1—диаметром D'_1, из которых первый осуществляет прямой рабочий ход тележки, на которой покоится бревно, т. е. надвигает бревно на зубья пилы, а при помощи второго шкива тележка подается после прохода бревна через пилу (распиловки) обратно в первоначальное положение (при этом ходе распиловки не производится, и поэтому назовем его холостым ходом).

При рабочем ходе ремень, проходящий через натяжной шкив B и направляющий шкив D, приводит во вращение шкив с диметром D_2 и вал II, на котором насажено малое зубчатое колесо E с числом зубцов—Z. Последнее передает вращение зубчатому колесу и валу III, на котором насажен барабан M диаметром D.

Тележка, несущая бревно, приводится в движение стальным тросом, который навивается на вращающийся барабан.

Ремень при рабочем ходе натягивается шкивом B. При повороте рукоятки P в сторону, указанную стрелкой, вокруг оси O поворачивается кронштейн K, несущий шкив B, который при своем движении туго натягивает рабочий ремень, при помощи коего осуществляются все дальнейшие передачи к тележке.

При холостом ходе ремень со шкивом A_1 передает вращение шкиву C_1; при этом рукоятка P поварачивается в сторону, указанную стрелкой, противоположную 1-му случаю; при повороте кронштейна K вокруг оси O натяжной шкив B опускается, натяжение рабочего ремня нарушается, трение ремня о шкивы прекращается, а следовательно ремень прекращает передачу вращения шкиву C, который останавливается. В это же время опущенный натяжной шкив B нажимает на ремень, проходящий через шкив, натягивает его и приводит во вращение шкив C_1 в сторону, указанную стрелкой, противоположную 1-му случаю, и поэтому вал II с зубчатой передачей и барабаном получают вращение в противоположном направлении, следовательно тележка при помощи троса оттягивается (после распиловки) в обратную сторону.

Пример 1. Определить наибольшую скорость подачи U

распиловки бревен, скорость резания которого $V=45$ *м/сек*, диаметр пильного диска $=1100$ *мм*, если известны размеры деталей передач:

1) шкив A_1, насаженный на пильный вал $D_1=180$ *мм*;
2) шкивы C и C_1, насаженные на вал II $D_2=360$ *мм*;
3) шкив A_1, насаженный на пильный вал $D_1^1=250$ *мм*;
4) число зубцов первого зубчатого колеса $Z_1=14$
5) » » второго » » $Z_2=70$
6) диаметр барабана $D_б = 220$ *мм*.

Решение. а) Для определения окружной скорости барабана, т. е. скорости тележки, на которой покоятся бревна при рабочем и холостом ходах, нужно узнать число оборотов пильного вила — $n_н$ и общее передаточное число всех передач от пильного вала к валу барабана.

Скорость резания нам известна, поэтому:

$$V=\frac{\pi \cdot D \cdot n_н}{60} \text{ м/сек},$$

откуда

$$n_н=\frac{60 \cdot V}{3{,}14 \cdot 1} = \frac{60 \cdot 45}{3{,}14 \cdot 1} = 870 \text{ об/мин}.$$

б) Общее передаточное число состоит из нижеследующих передаточных чисел:

1) при рабочем ходе:

$$i_1=\frac{D_1}{D_2} = \frac{180}{360} = \frac{1}{2},$$

при расчете этого передаточного числа размеры шкивов B и D, как натяжные и направляющие, не входят;

$$i_2=\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{14}{70} = \frac{1}{5}$$

и поэтому общее передаточное число при рабочем ходе

$$i_р=i_1 \cdot i_2=\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{5} = \frac{1}{10}=0{,}1;$$

2) при холостом (обратном) ходе:

$$i'_1=\frac{D'_1}{D_2} = \frac{250}{360} = 0{,}7,$$

$$i'_2=\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{14}{70}=0{,}2,$$

$$i_х=i'_1 \cdot i'_2=0{,}7 \cdot 0{,}2=0{,}14.$$

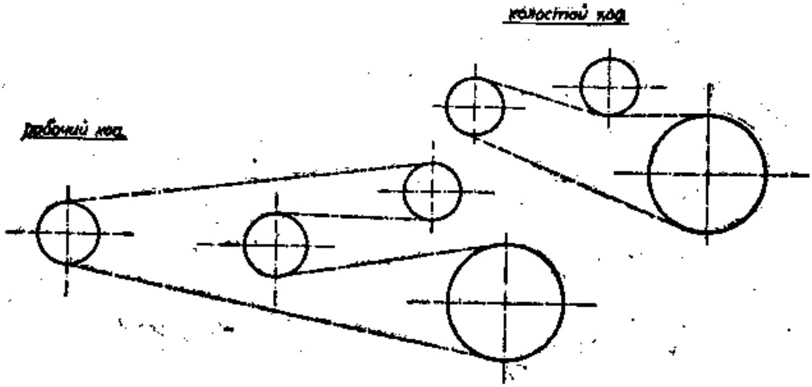
в) Число оборотов барабана:

1) при рабочем ходе:

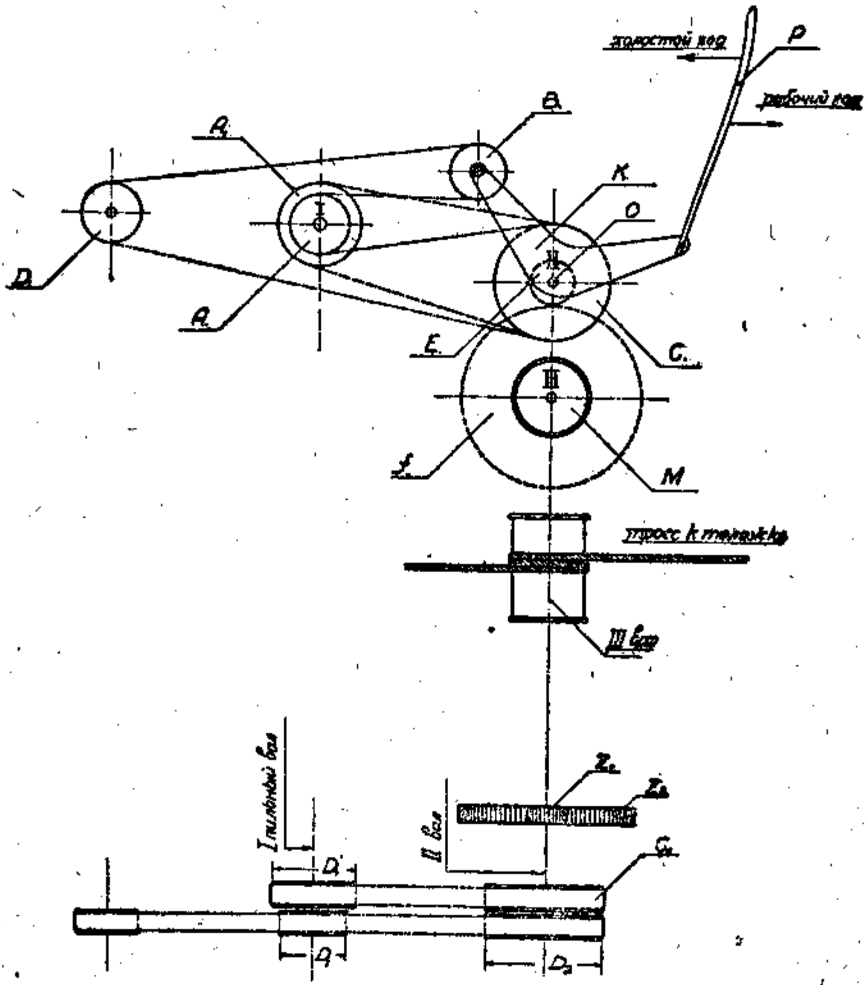
$$n_б = i_р \cdot n_н = 0{,}1 \cdot 870 = 87 \text{ об/мин};$$

2) при холостом ходе:

$$n_б = i_х \cdot n_н = 0{,}14 \cdot 870 = 122 \text{ об/мин}$$



холостой ход
рабочий ход



холостой ход
P
рабочий ход
B
A
K
O
D
A
E
C
f
M
трос к тележке
III вал
II вал
D'

г) Скорости подачи (скорость тележки при рабочем ходе равняется окружной скорости барабана):

$$U=\pi \cdot D_б \cdot n_б = 3{,}14 \cdot 0{,}220 \cdot 87 = 60 \ м/мин.$$

Скорость обратного холостого хода:

$$U_х = \pi \cdot D_б \cdot n_б = 3{,}14 \cdot 0{,}22 \cdot 122 = 84 \ м/мин.$$

При расчетах не учтены скольжения в ременных передачах и на барабане.

Пример 2. На сколько возможно уменьшить в круглопильном станке, указанном в предыдущем примере, величины скоростей подачи U, движения тележки при холостом ходе—$U_х$, не изменяя размеров шкивов и не допуская, чтобы $Z_2 : Z_1$ было более 6 и диаметр барабана менее 200 *мм*.

Решение. При рабочем ходе:

1) $i_1 = {}^1/_2$ попрежнему; $i_2 = \dfrac{Z_1}{Z_2} = \dfrac{1}{6}$ по условию, а следовательно

$$i_р = i_1 \cdot i_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{12}.$$

2) $$n_б = i_р \cdot 870 = \frac{1}{12} \cdot 870 = 72{,}5$$

и

$$U = \pi \cdot D_б \cdot n_б = 3{,}14 \cdot 0{,}20 \cdot 72{,}5 = 45 \ м/мин.$$

Скорость уменьшается на 15 *м/мин*.

При холостом ходе:

1) $$i'_1 = 0{,}7; \quad i'_2 = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{1}{6}; \quad i_х = 0{,}7 \cdot 0{,}17 = 0{,}12;$$

2) $$n_б = i_х \cdot n_п = 0{,}12 \cdot 870 = 104 \ об/мин.$$

и

$$U_х = \pi \cdot D_б \cdot n_б = 3{,}14 \cdot 0{,}2 \cdot 104 = 65 \ м/мин.$$

Скорость уменьшается на 19 *м/мин*.

§ 51. Расчет подающего механизма лесопильной рамы с непрерывной подачей. На рис. 43 представлена схема и фотография (рис. 44) подающего механизма двухэтажной лесопильной рамы, представляющей собою систему ременной, фрикционной и зубчатых передач, все элементы которых имеют постоянное направление вращения и при определенном положении рукоятки *О* на секторе *С* определенную постоянную по величине скорость вращения. Поэтому этот механизм дает на вальцах, подающих бревно, подлежащее распиловке, в раму, равномерную скорость подачи.

Сущность передачи состоит в нижеследующем.

На главном валу рамы *Р* насажен шкив диаметром $Д_1$. С этого шкива перекрестным ремнем *Б* движение передается фрикционному диску *А* диаметром $Д_2$ и последний непрерывно вращается в направлении, указанном стрелкой.

К этому диску прижимается фрикционное колесо *В* диаметром $Д_4$, скользящее на шпонке по вертикальному валу ...

или опускаться от рычага рукоятки O посредством тяги $Д$ и обоймы E, благодаря чему малое фрикционное колесо B может изменять свое расстояние от центра по обе его стороны. Это расстояние обозначено—R_3.

При $R_3 = 0$, когда средина малого фрикционного колеса совпадает с центром фрикционного диска, подачи не происходит.

При положении малого фрикционного колеса ниже центра подача совершается в направлении движения бревна на зубья пилы, и происходит распиловка.

В зависимости от положения малого фрикционного колеса получаем ту или иную скорость подачи; при перемещении же этого шкива выше центра фрикционного диска подача бревна происходит в обратную сторону.

На вертикальном валу $Г$ имеется двухходовой червяк Z_1, передающий движение червячному колесу Z_2, на одном валу с которым сидит шестерня $Л_4$ с числом зубцов Z_3.

От этой шестерни получают движение зубчатые колеса H с числом зубцов Z_4, приводящие в движение нижние подающие вальцы, диаметром $Д$, сидящие на одном валу с зубчатыми колесами—H.

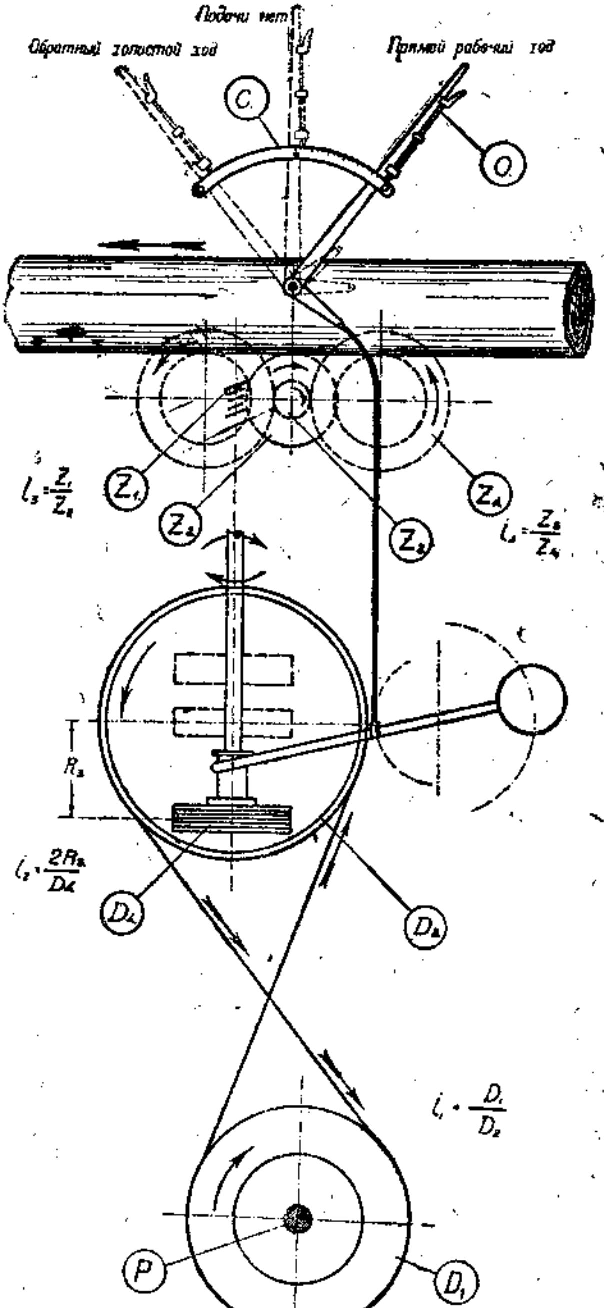


Рис. 43. Схема подающего механизма лесопильной рамы с непрерывной подачей.

Для определения величин скоростей подающих вальцов нужно найти чисел, учитывающих скольжение в передачах механизма:

$$а)\ i_1 = \frac{D_1}{D_2} \cdot k_1,$$

где k_1—коэфициент, учитывающий скольжение ремня=0,97—0,98,

$$б)\ i_2 = \frac{D_3}{D_4} \cdot k_2; \quad i_2 = \frac{2R_3}{D_4} \cdot k_2$$

где k_2—коэфициент, учитывающий скольжение фрикционной передачи = 0,93—0,97,

$$в)\ i_3 = \frac{Z_1}{Z_2},$$

z_1—число ходов червяка,

$$г)\ i_4 = \frac{Z_3}{Z_4},$$

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 \cdot = \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{D_3}{D_4} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \cdot k_1 \cdot k_2.$$

Обозначая через $k_м = k_1 \cdot k_2$ общий коэфициент, учитывающий скольжение в передачах подающего механизма, получим окончательно

$$\boxed{i = k_м \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{D_3}{D_4} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4}} \qquad (56)$$

Зная n_p число оборотов рамы в минуту и общее передаточное число механизма — i, получаем $n_в$ —число оборотов подающих вальцов в минуту, а именно:

$$n_в = i \cdot n_p.$$

Окружная скорость подающих вальцов м/мин

$$U = \pi \cdot D \cdot n^в = \pi D \cdot i \cdot n_p$$

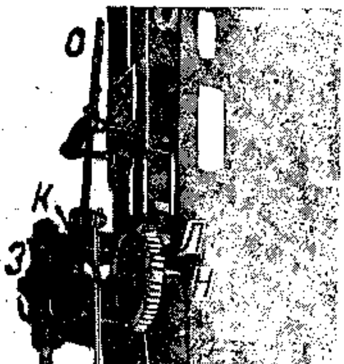


Рис. 44. Фотография подающего механизма лесорамы.

Для определения $\Delta^в$ и подачи за один оборот вала рамы следует полученное выражение разделить на число оборотов рамы—n_p.

$$\Delta^в = \frac{U}{n_p} = \frac{\pi \cdot D \cdot i \cdot n_p}{n_p} = i \cdot \pi \cdot D$$

или, подставляя вместо i выражение формулы, получим

$$\boxed{\Delta^в = k_м \cdot \pi \cdot D \frac{D_1 \cdot D_3 \cdot Z_1 \cdot Z_3}{D_2 \cdot D_4 \cdot Z_2 \cdot Z_4}} \qquad (57)$$

При средних значениях $k_м = k_1 \cdot k_2 = 0{,}97 \cdot 0{,}95 = 0{,}92$ и $\pi = 3{,}14$ получим окончательно

$$\Delta_в = 2{,}89 D \frac{D_1 \cdot D_3 \cdot Z_1 \cdot Z_3}{D_2 \cdot D_4 \cdot Z_2 \cdot Z_4},$$

так как $D_3 = 2R_3$ то

$$\boxed{\begin{aligned} \Delta_в &= 2 \cdot 2{,}89 D \frac{R_3 \cdot D_1 \cdot Z_1 \cdot Z_3}{D_4 \cdot D_2 \cdot Z_2 \cdot Z_4} \\ \Delta_в &= 5{,}78 \cdot D \cdot i_1 \cdot i_3 \cdot i_4 \frac{R_3}{D_4} \end{aligned}} \tag{58}$$

Выведенные выше формулы дают значения величин подач за один оборот вала рамы, получающихся на окружности подающих вальцов при принятых нами средних значениях коэфициентов, учитывающих потери скоростей в деталях подающих механизмов.

При непринятии в расчет скольжения и потерь скоростей в передачах, т. е. исключении из формулы коэфициентов *км*, получим, что подача за один оборот вала рамы — $\Delta м$, зависящая исключительно от размеров деталей и конструкции механизма подачи и поэтому называемая конструктивной теоретической подачей, выражается нижеследующими формулами:

$$\Delta_м = 6{,}28 \cdot D \cdot \frac{R_3 \cdot D_1 \cdot Z_1 \cdot Z_3}{D_4 \cdot D_2 \cdot Z_2 \cdot Z_4} \tag{59}$$

$$\Delta_м = 6{,}28 \cdot \mathrm{D} \cdot i_1 \cdot i_3 \cdot i_4 \cdot \frac{R_3}{D_4} \tag{59a}$$

Для получения точных данных величин подач за один оборот вала рамы на подающих вальцах—$\Delta_в$ нужно на основании испытаний каждой отдельной рамы определить коэфициент *к*, каковой и ввести в формулы теоретической подачи.

Таким образом

$$\boxed{\Delta_в = k_м \cdot \Delta_м} \tag{60}$$

Пример 1. Определить максимальные подачи на один оборот вала рамы при прямом и обратном ходе для лесопильной рамы, имеющей следующие размеры деталей подающего механизма:

1) диаметр ременного шкива $D_1 = 655$ *мм*;

2) диаметр (внешний) фрикционного диска-шкива $D_2 = 780$ *мм*;

3) расстояние средины малого фрикционного колеса до центра фрикционного диска;

а) при прямом ходе $R_3 = 285$ *мм*,

б) при обратном ходе $R_3{}^1 = 155$ *мм*;

4) диаметр малого фрикционного шкива с фибровой поверхностью $D_4 = 357$ *мм*,

5) число ходов червяка $Z_1 = 2$;

6) число зубцов червячного колеса $Z_2 = 32$;

7) число зубцов шестерни $Z_3 = 15$;

8) число зубцов большого зубчатого колеса $Z_4=47$;

9) диаметр подающего вальца в месте прохождения бревна $D=255$ *мм*.

Решение. 1) Передаточное число

$$i_1=\frac{D_1}{D_2}=\frac{655}{780}=0,84,$$

$$2)\ i_3=\frac{2}{32}=0,062,$$

$$3)\ i_4=\frac{15}{47}=0,32.$$

4) При прямом ходе;

$$\Delta_e=\frac{5,78\,D\cdot R_3\cdot i_1\cdot i_3\cdot i_4}{D_4}=$$

$$=\frac{5,78\cdot 255\cdot 285\cdot 0,84\cdot 0,062\cdot 0,32}{357}=19,5\ мм.$$

5) При обратном ходе;

$$\Delta_e=\frac{5,78\cdot D\cdot R'_3\cdot i_1\cdot i_3\cdot i_4}{D_4}=\frac{5,78\cdot 255\cdot 155\cdot 0,84\cdot 0,062\cdot 0,32}{357}=10,5\ мм.$$

Пример 2. При каком положении малого фрикционного колеса возможно достигнуть величины подачи на один оборот вала рамы— $\Delta_e=15$ *мм* при размерах деталей подающего механизма, указанных в предыдущем примере?

Решение. По формуле (58) имеем:

$$\Delta_e=\frac{5,78\cdot D\cdot R_3\cdot i_1\cdot i_3\cdot i_4}{D_4},$$

откуда

$$R_3=\frac{\Delta_e\ D_4}{5,78\cdot D\cdot i_1\cdot i_3\cdot i_4}=\frac{15\cdot 357}{5,78\cdot 255\cdot 0,84\cdot 0,062\cdot 0,32}=220\ мин.$$

Пример 3. На какое расстояние R_3 должен передвигаться малый фрикционный шкив, для того чтобы разница в величинах подачи за один оборот рамы при передвижении рычага с одного зубца на соседний зубец сектора не превышала 1 *мм* той же рамы? Положение рычага на зубце сектора фиксирует положение малого фрикционного шкива на фрикционном диске шкива.

По формуле (58) имеем:

$$\Delta_e=\frac{5,78\cdot D\cdot R_3\cdot i_1\cdot i_3\cdot i_4}{D_4},$$

$\Delta_e=1$, поэтому

$$R_3=\frac{1\ 357}{5,78\cdot 255\cdot 0,84\cdot 0,062\cdot 0,32}=15\ мм.$$

Пример 4. Определить угловую скорость малого фрикционного шкива при $\Delta_e=12$ *мм* и числе оборотов рамы в минуту $n_e=290$ той же рамы.

Решение. 1) По предыдущему примеру имеем:

$$R_8=\frac{\Delta\cdot D_4}{5{,}78\cdot D\cdot i_1\cdot i_2\cdot i_4}=\frac{12\cdot 357}{5{,}78\cdot 255\cdot 0{,}84\cdot 0{,}062\cdot 0{,}32}=178\ мм.$$

2) Передаточное число между ведущим шкивом, насаженным на валу рамы, и фрикционным диском-шкивом, при $k_1=0{,}98$

$$i_1=\frac{D_1}{D_2}\cdot k_1=0{,}84\cdot 0{,}98=0{,}82$$

и поэтому число оборотов фрикционного диска в минуту

$$n_g=0{,}82\cdot 290=238.$$

3) Передаточное число между фрикционным диском-шкивом (являющимся для данной рассматриваемой пары шкивов—ведущим шкивом) и малым фрикционным колесом при $R_8=178$ *мм* при $k_2=0{,}95$:

$$i_2=\frac{2R_8}{D_4}\cdot k_2=\frac{2\cdot 178}{357}\cdot 0{,}95=0{,}95,$$

и поэтому число оборотов малого фрикционного фибрового колеса в минуту

$$n_\phi=i_2\cdot n_g=0{,}95\cdot 238=226.$$

4) Угловая скорость малого фрикционного шкива:

$$\omega=\frac{\pi\cdot n}{30}=\frac{3{,}14\cdot 226}{30}=26{,}3\ рад/сек.$$

Определить продолжительность одного оборота большого зубчатого колеса Z_4 при $\Delta=18$ *мм* и числе оборотов рамы в минуту $n_p=300$ той же рамы.

§ 52. Коэфициент полезного действия подающего механизма лесопильной рамы. Из формулы для вычисления величин подач при непрерывной подаче мы видим, что вследствие скольжения в ременных и фрикционной передачах подающего механизма величины подач, получающиеся на подающих вальцах при работе на раме, будут меньшими, чем конструктивные теоретические подачи.

При толчковой подаче указанное явление также имеет место вследствие имеющихся слабин в подающем механизме рамы, благодаря износу и другим причинам, как-то: проскальзыванию собачки на фрикционном колесе, слабин в шарнирах и передачах.

Итак в общем случае работы рамы при $k_м$ — коэфициенте, учитывающем величины потерь скорости в частях подающего механизма до подающих вальцов, величина конструктивной теоретической подачи за один оборот вала рамы—$\Delta_м$ (без учета потери в передачах, зависящей исключительно от положений и размеров стержней и деталей передач посылочного механизма) равняется из формулы (60):

$$\Delta_м=\frac{\Delta_g}{k_м},$$

и поэтому

$$\boxed{k_м = \frac{\Delta_в}{\Delta_м}} \qquad (60а)$$

Вследствие скольжения бревен в подающих вальцах фактическая скорость подачи и следовательно фактически достигнутая подача за один оборот вала рамы (см. стр. 21) $\Delta = \frac{L}{t \cdot n}$ будет меньше подач полученных на подающих вальцах.

$$\boxed{\frac{\Delta}{\Delta_в} = k_в} \qquad (61)$$

Отношение будет являться коэфициентом, учитывающим величину потери скоростей от пробуксовывания вальцов.

Коэфициент $k_в$ зависит от состояния подающих вальцов (степень сохранности и правильности рифления) и состояния бревен (окоренность, закомелистость, обледенелость, сучковатость и пр.).

k—общий коэфициент, учитывающий потери в подающем механизме и характеризующий полностью его работу или к. п. д. **подающего механизма рамы**, будет равняться:

$$k = k_м \cdot k_в = \frac{\Delta_в \cdot \Delta}{\Delta_м \cdot \Delta_в} \qquad (62)$$

или

$$\boxed{k = \frac{\Delta}{\Delta_м}} \qquad (62а)$$

К. п. д. подающего механизмы лесорамы равняется отношению фактически достигнутой подачи за один оборот вала рамы, к конструктивно-теоретической подаче за один оборот вала рамы.

§ 53. Разметка подающего механизма лесопильной рамы. Величины скоростей подач меняются в зависимости от толщины распиливаемых бревен, и обслуживающий лесопильную раму персонал должен знать величину подач, соответствующую каждому зубцу зубчатого сектора (рис. 43), на который должна быть установлена в каждом отдельном случае распиловки рукоятка—рычаг.

Поэтому зубчатый сектор должен быть размечен.

Как производить разметку, разберем на конкретной разметке подающего механизма с непрерывной подачей лесопильной рамы типа «Стандарт» фирмы Болиндер, имеющей следующие размеры деталей подающего механизма (рис.43):

1) диаметр ременного шкива $D_1 = 630$ *мм*;

2) диаметр (внешний) фрикционного металлического диска шкива $D_2 = 780$ *мм*;

3) наибольшее расстояние середины малого фибрового диска до центра фрикционного диска-шкива $R_3=261$ *мм*:

4) диаметр малого фрикционного колеса с фибровой поверхостью $D_4=350$ *мм*;

5) число ходов червяка $Z_1=2$;

6) число зубцов червячного колеса $Z_2=32$;

7) число зубцов шестерни $Z_3=15$;

8) число зубцов большого зубчатого колеса $Z_4=47$;

9) диаметр подающего вальца $D_1=251$ *мм*.

При установлении рычага на зубце в центре сектора, когда середина малого фиброго колеса находится в центре металлического фрикционного диска, подачи не происходит; поэтому на этом зубце сектора поставим 0.

Затем вправо от 0 над каждым зубцом (впадиной) ставим по порядку 1, 2, 3, 4, 5 и так далее до 18—до конца.

Так как обратной подачей пользуются редко и величина ее на играет существенной роли, то разметку сектора влево от 0, когда малое фибровое колесо будет находиться выше центра фрикционного металлического диска, мы производить не будем.

После этого рычаг мы переводим на каждый номер зубца и производим промеры расстояний—R_3—от центра металлического диска-шкива до середины фибрового фрикционного колеса.

Опеределив таким образом величины R_3, производим расчеты конструктивной теоретической подачи для каждого номера зубца по известной нам формуле.

Так, например при положении рычага на 13-м зубце имеем $R_3=197$ *мм* и

$$\Delta_м = 6{,}28\,D\cdot\frac{R_3\cdot D_1\cdot z_1\cdot z_3}{D_4\cdot D_2\cdot z_2\cdot z_4}.$$

Подставляя значения, приведенные выше, получим:

$$\Delta_м = \frac{6{,}28\cdot 251\cdot 197\cdot 630\cdot 2\cdot 15}{350\cdot 780\cdot 32\cdot 16} = 14{,}38\ мм.$$

Таблица 8.

№ зубца (впадины) на секторе	Соответствующие R_3 в *мм*	Подача за один оборот вала рамы		
		конструктивно техническая $\Delta_м$	Н вальцах $\Delta_в$	Фактическ. Δ
4	65	4,73	4,49	4,22
5	80	5,82	5,53	5,19
6	95	6,91	6,66	6,16
7	110	8,00	7,60	7,13
8	125	9,09	8,63	8,11
9	140	10,19	9,67	9,08
10	155	11,28	10,70	10,05
11	170	12,37	11,74	11,02
12	185	13,47	12,77	12,00
13	197	14,38	13,66	12,84
14	212	15,47	14,69	13,08
15	227	16,56	15,72	14,78
16	242	17,62	16,75	15,74
17	256	18,64	17,70	16,64
18	262	19,07	18,12	17,00

Рассчитывая таким образом следующие значения для теоретической подачи, в зависимости от положений рычага и величин R_8, получим теоретические конструктивные подачи за один оборот вала рамы для каждого номера зубца (впадины).

Затем на основании длительных наблюдений за работой рамы определяются для каждого номера зубца коэфииценты $\kappa_м$ и $\kappa_в$ и к. п. д. подающего механизма по формулам (60а, 61).

Для указанной рамы при расстояниях R_8, соответствующих каждому номеру зубца и полученных, положим, на основании произведенных длительных наблюдений над работой рамы средних значений, $k_м = 0{,}95$ (для хорошего состояния передач) и $k_в = 0{,}94$, таблица подач примет следующий вид (табл. 8, см. стр. 95).

О СИЛАХ

§ 54. Определение силы и элементы силы. Силой вообще называется причина, которая способна вывести тело из состояния покоя или изменить его движение, если тело двигалось.

Если тело из состояния покоя перешло в движение или движение изменилось или прекратилось, то для всех этих явлений непременно должна была действовать какая-то причина или совокупность причин.

Каждое явление обусловливается действием определенных причин— сил. Лошадь везет воз. Причина движения—тяга лошади. У паровоза с помощью пара приводятся в движение колеса, и паровоз двигается. Причина движения—действие пара и сопротивление (трение) рельс. Если бы последнего не было, то, несмотря на действие пара, колеса скользили бы по рельсам, вращаясь на месте и паровоз не двигался бы.

Всюду причиной движения служит действие на движущиеся предметы других тел.

Но не всегда действие одного предмета приводит в движение другой; поэтому различают силы движущие и силы сопротивления.

Одни силы, производящие движение, называются движущими; другие, напротив, препятствуют движению, оказывают ему сопротивление; они называются силами сопротивления.

Когда мы поднимаем какое-либо тело, то движущей силой является мускульная сила руки, а силой сопротивления — сила тяжести, проявляющаяся в силе веса поднимаемого предмета.

Если тянут по полу ящик, то между ним и поверхностью пола возникает сила, препятствующая движению ящика,—это есть сила трения между дном ящика и полом, яляющаяся в данном случае силой сопротивления.

Одна и та же сила может быть иногда силой движущей, а иногда силой сопротивления.

Так, например сила ветра является движущей силой, если она приводит в действие ветряную мельницу; в других же случаях она является силой сопротивления, например когда противодействует движению поезда. Всем известно, как трудно итти против ветра.

Когда сила трения препятствует движению, то она является вредным сопротивлением; в некоторых случаях трение полезно, и без силы трения невозможно было бы движение (например трение между ведущими колесами паровоза и рельсами).

Люди не могли бы ходить, если бы не было трения. Когда мы ходим, то одну ногу заносим вперед и, зацепившись неровностями подошвы о неровности земли, передвигаемся вперед. Чем глаже поверхность, чем меньше неровностей на поверхности, тем труднее ходить. Ходьба по льду труднее, чем по полу.

Если две или несколько сил действуют на тело, не производя движения, то такое состояние называется равновесием, а сами силы в этом случае называются взаимно уравновешивающимися.

Элементы силы. Что нужно знать для полного знания силы? Прежде всего необходимо знать величину силы. Для определения силы нужно ее измерить, т. е. сравнить с силой, принятой за единицу.

Так как вес является тоже силой (силой притяжения земли), то для измерения сил могут служить меры веса, а единицей силы будут единицы веса (килограмм и т. д.).

В технической системе мер единицей силы является килограмм и обозначается *кг.* Измерения производятся при помощи особых приборов— динамометров, представляющих своеобразные пружинные ве ы.

Кроме величины силы для полного суждения о силе необходимо знать направление силы и точку приложения силы, т. е. точку тела, на которую действует в данном направлении сила.

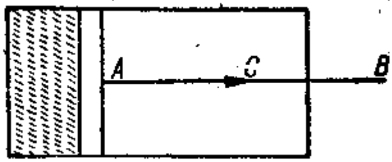


Рис. 45. Графическое изображение силы пара на поршени.

Силы очень удобно изображать графически. Положим, что нужно изобразить действие пара на поршень цилиндра паровой машины. Давление пара на поршень пусть равняется 500 *кг.* Выберем масштаб 1 *см* = 250 *кг* (рис. 45).

Из точки приложения силы, за которую можно принять центр поршня, проводим прямую AB по направлению действия силы. От точки A в сторону де. ствия силы, т. е. слева направо, откладываем по масштабу 2 *см* и в конце отложенного отрезка стрелкой показываем направление. Тогда отрезок AC даст полное представление о силе действия пара.

§ 55. Сложение и разложение сил. В большинстве случаев действует не одна, а несколько сил, так что движение тела является результатом совокупного действия этих сил.

Отдельные силы, действующие на тело, называются составляющими, а та сила, которая действует на тело в течение того же промежутка времени, как и составляющие силы, называется равнодействующей силой. Нахождение равнодействующей нескольких сил называется сложением сил.

Силы, направленные по одной прямой. Положим, к крючку потолка привешено на нитке несколько гирь (рис. 46). Силы веса этих гирь направлены по одной прямой вертикали, в одну сторону—вниз. Общее их действие конечно направлено по этой же прямой (т. е. вертикали) в ту же сторону (т. е. вниз) и равно действию груза в 12 *кг.* Поэтому этот груз называется равнодействующим.

Если мы потянем за веревку вверх силой в 2 *кг,* то уже не все силы будут направлены в одну сторону. Для отличия силы, направленные вверх, считают отрицательными, а силы, направленные вниз,—положительными. Теперь, как легко проверить, действие сил P_1, P_2, P_3 и нашего усилия $P_4=2$ *кг* равно действию в 10 *кг.* Как видим, равнодействующая, обозначаемая буквой R, равна:

в первом случае $R=P_1+P_2+P_3=5+3+4=12$ *кг,* а

во втором случае $R=P_1+P_2+P_3+(-P_4)=5+3+4-2=10$ *кг,*

т. е. в обоих случаях алгебраической сумме действующих сил.

Итак, равнодействующая двух или нескольких сил, направленных по одной прямой в одну или разные стороны, равна их алгебраической сумме, подразумевая под последней (в отличие от арифметической) сумму слагаемых, взятых с их алгебраическими знаками.

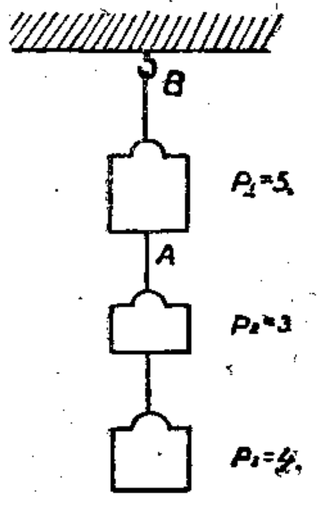


Рис. 46. Силы, направленные по одной прямой.

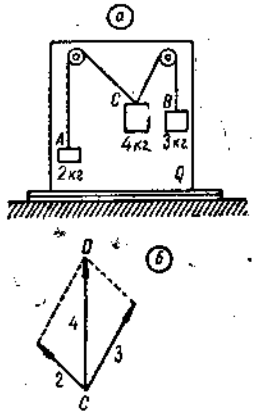


Рис. 47. Силы, направленные под углом.

§ 56. Сложение и разложение сил, направленных под углом. Нам теперь необходимо найти равнодействующую двух сил, направленных под углом. Мы это сделаем на приборе, изображенном на рис. 47.

Прибор состоит из вертикальной доски Q, в верхних углах которой прикреплены два блока. На доске укреплена бумага и через блоки перекинута нить. Повесим на крюк A гирю в 2 *кг*, на крюк B—3 *кг*, а на крюк C—в 4 *кг*. После некоторых колебаний нить с грузами остановится. Отметим на бумаге карандашом точку C и от этой точки проведем направление нитей. Взяв определенный масштаб, скажем 1 *кг*=1 *см*, отложим на каждо направлении величину соответствующей силы и построим на изображени сил параллелограмм. Измеряем по масштабу его диагональ CD, соеди ющую точку приложения с противоположной вершиной. Оказывается равно третьей уравновешивающей силе, т. е. ее можно считать р а д е й с т в у ю щ е й первых двух сил. Значит, для определения действующей нужно на заданных силах построить параллелограм о со- диагональ, соединяющая начальную точку с противоположной з них; ной, представит по направлению и величине равнодействующу нахо- действие называется геометрическим сложением двух сил. няющей

Итак, равнодействующая R двух сил P_1 и стороне ложенных к точке O тела и графически пред, что от- ных отрезками OA и OC, выражается по вения рав- направлению диагональю OB параллелограмма данных (рис. 48), построенного на сторонах $OA=P_1$ этих сил,

Геометрическое сложение обозначается обычным способ каждой буквой, обозначающей отрезок силы, ставятся ч

$$\overline{R}=\overline{P_1}+\overline{P_2}.$$

Разложение силы. До сих пор мы занимались вопросом о соединении сил в одну равнодействующую, чтобы таким образом определить результат одновременного действия этих сил. Еще чаще для определения действия силы R приходится находить две других силы P_1 и P_2, действие которых вполне заменяет действие одной силы R.

Для этого нам нужно только построить параллелограмм (рис. 49), в котором сила R, выраженная отрезком OB, составляет диагональ; действительно, в этом случае стороны OA и OC представляют силы P_1 и P_2, которые дают равнодействующую $OB=R$.

Чтобы построение параллелограмма было возможно, необходимо непосредственно или косвенно на основании других условий задать направления сил P_1 и P_2.

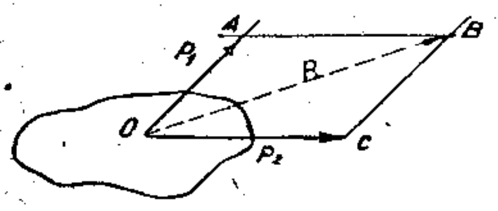


Рис. 48. Сложение двух сил, направленных под углом.

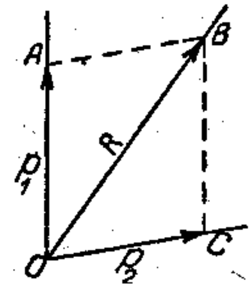


Рис. 49. Разложение двух сил, действующих под углом.

§ 57. Сложение параллельных сил. Если силы, действующие на тело, параллельны между собой, то правило сложения таких сил выражается следующими положениями:

1) При сложении двух параллельных сил, направленных в одну сторону (рис. 50), равнодействующая равна их сумме, параллельна данным силам, направлена в ту же сторону и делит расстояние между точками приложе-

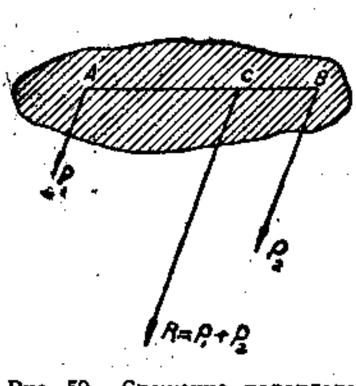


Рис. 50. Сложение параллельных сил, направленных в одну сторону.

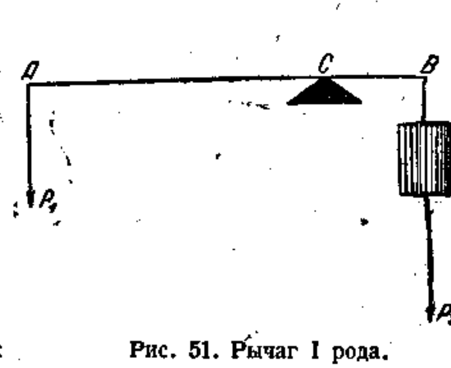


Рис. 51. Рычаг I рода.

ния данных сил на части, обратно пропорциональные силам, т. е.

$$R=P_1+P_2 \text{ и } \frac{P_1}{P_2}=\frac{CB}{CA} \qquad (63)$$

Если на тело действуют параллельные силы и все они стремятся двигать тело в одном и том же направлении, то очевидно, что то же самое движение, которое тело получит под действием всех сил, можно получить и с помощью одной силы, которая несомненно равна их сумме.

Кроме того равнодействующая сила должна быть параллельна данным силам.

Итак, величину и направление равнодействующей силы мы знаем, и теперь вопрос заключается в том, как найти положение точки приложения этой силы.

Вышеуказанное равенство показывает, что левая сила относится к правой, как правый отрезок к левому, иначе говоря, расстояние равнодействующей до составляющих сил обратно пропорционально силам.

Эти соотношения каждому известны, хотя и бессознательно, по действию сил на рычагах.

На рис. 51 представлен рычаг первого рода, т. е. такой, в котором точка опоры лежит между силами.

С помощью силы P_1 поднимается груз P_2.

Равнодействующая их проходит через точку C. Поэтому сила P_1 будет во столько раз меньше груза, во сколько раз плечо рычага CA больше плеча CB.

2) Равнодействующая двух параллельных сил, направленных в разные стороны (рис. 52), равна их разности и направлена параллельно составляющим силам в сторону большей из них; точка приложения равнодействующей находится на продолжении линии, соединяющей точки приложения данных сил, на стороне большей из них, и расположена так, что отношение расстояния точки приложения равнодействующей до точек приложения данных сил равно обратному отношению этих сил, т. е.

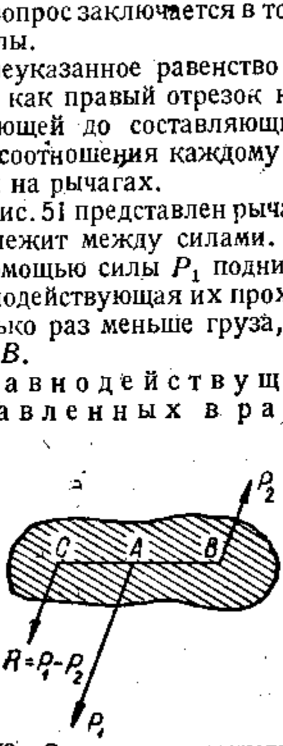


Рис. 52. Сложение параллельных сил, направленных в разные стороны.

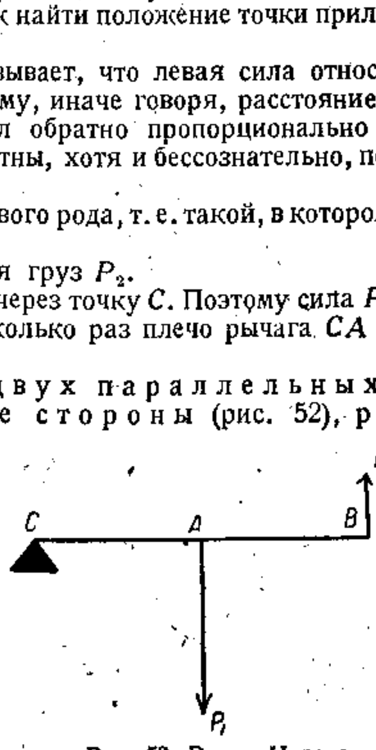


Рис. 53. Рычаг II рода.

$$R=P_1-P_2;\ \frac{P_1}{P_2}=\frac{CB}{CA} \qquad (64)$$

Указанное соотношение известно по действию сил на рычаге второго рода.

На рис. 53 представлен рычаг второго рода. В нем точка опоры находится на конце, а обе силы P_1 и P_2 расположены по одну сторону от шарнира, но направлены в разные стороны.

И в данном случае поднимающая сила P_2 во столько раз меньше груза P_1, во сколько раз плечо CA меньше плеча CB.

§ 58. Примеры и задачи. 101. Изобразить графически вес гири в 2 *кг*, привешенной к крюку.

Решение. Здесь сила вертикальна и направлена вниз. Берем масштаб 1 *см* = 1 *кг*; от точки A—центра гири—проводим вниз вертикаль, на ней отложим 2 *см* и в конце поставим стрелку. Отрезок AB будет вполне изображать силу веса в 2 *кг* (рис. 54).

102. Если на чашку весов положить три гири, одну весом в 10 *кг* и две по 5 *кг*, то гирей какого веса может быть заменено их действие?

103. Определить равнодействующую пяти сил, а именно: $P_1=400$ *кг*, $P_2=-200$ *кг*, $P_3=-350$ *кг*, $P_4=100$ *кг*, $P_5=-175$ *кг*

Решение. Равнодействующая:

$$R=P_1+P_2+P_3+P_4+P_5=400-200-350+100-175=-225 \text{ кг}.$$

На рис. 55 произведено то же сложение графически. Задавшись начальной точкой O, будем положительные силы откладывать слева направо, а отрицательные в обратном направлении.

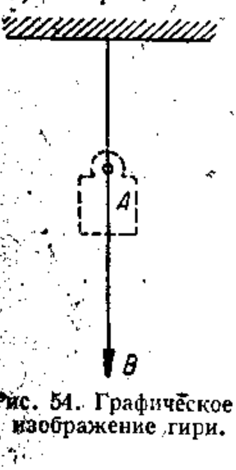


Рис. 54. Графическое изображение гири.

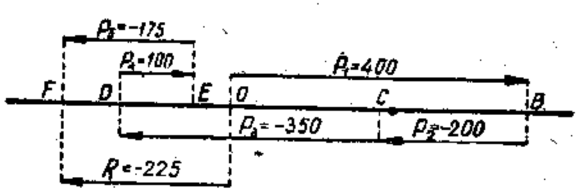


Рис. 55. К задаче 104.

Взяв масштаб 1 *мм*=10 *кг*, откладываем от точки O вправо отрезок $OB=\frac{400}{10}=40$ *мм*, от точки B влево силу $P_2=-200$ *кг*; отрезок BC в выбранном нами масштабе составит $\frac{200}{10}=20$ *мм*; дальше откладываем влево уже от точки C отрезок$=\frac{350}{10}=35$ *мм* и т. д.

Равнодействующая R выразится отрезком OF между начальной точкой O и конечной F, направленным, как видим, справа налево и равным 22,5 *мм*; следовательно искомая равнодействующая

$$R=10\cdot 22{,}5=-225\ кг.$$

104. На балку (рис. 56), поддерживаемую укосиной, действует груз $Q=1000$ *кг*, приложенный к точке A. Определить усилия, вызванные силой Q к балке и укосине.

Решение. От точки A откладывается вниз по вертикали 10 линейных единиц, из которых каждая представляет 100 *кг*, так что $AE=10$ и перпендикулярна к BC.

Затем через A и E проводим линии, параллельные BC и AD, и получаем таким образом параллелограмм AE_1 и AE_2—искомые усилия в балке и укосине.

При точном построении найдем, что $AE_1=13{,}5$ и $AE_2=16{,}75$ линейным единицам в выбранном нами масштабе. Из этого следует, что балка растягивается усилием в 1 350 *кг*, а укосина сжимается усилием в 1 675 *кг*.

105. Определить силу, натягивающую части троса, поддерживающего фонарь весом в 5 *кг* (рис. 57).

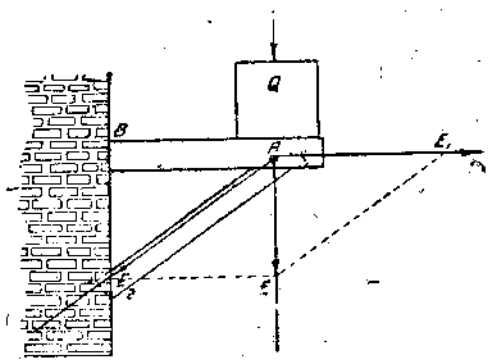


Рис. 56. К задаче 105.

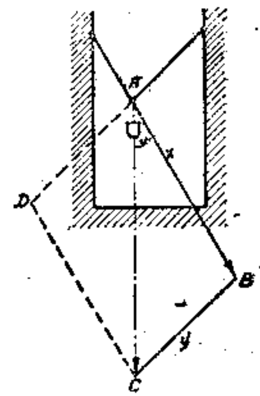


Рис. 57. К задаче 106.

Решение. Берем масштаб 1 *см* × 1 *кг* и делаем чертеж.

На силе в 5 *кг* строим параллелограмм $ABCD$.

Сторона AB изображает действие веса на левую часть троса, а сторона AD—на правую. Измерив по масштабу, найдем их величину.

106. При резании в торец дерева резание производится в плоскости (рис. 58), перепендикулярной к направлению волокон.

Волокна, прилегающие к передней грани резца AB, подвергаются сжатию под действием силы P, перпендикулярной к передней грани. Указанная сила разлагается по правилу параллелограмма на две силы:

1) силу P_1, направленную по xy; это есть сила, с которой резец прижимается к дереву и вдавливается на некоторую глубину;

2) силу P_2, направленную в плоскости волокон AD и скалывающую элемент дерева $ADMN$.

При этих условиях угол резания BAX равняется α (альфа).

Определить скалывающую силу P_2 при уменьшении угла α при той же силе P_1.

Решение. На рис. 59 изобразим процесс резания в торец при резце, у которого угол резания меньше.

Сила P, благодаря уменьшению угла α, изменит свое направление.

Проводим линию направления силы P_1, перпендикулярную к передней грани резца.

С конца силы P_1, нам заданной (равной как по направлению, так и по величине силе P_1 предыдущей задачи), проводим линию параллельно AD до пересечения с направлением силы P.

С точки A проводим в направлении плоскости волокон линию действия силы P_2. С конца силы P проводим линию параллельно направлению силы P_1 до пересечения с направлением силы P_2 и таким образом находим величину и направление силы P_2.

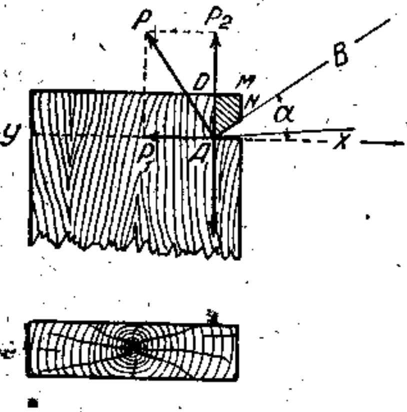


Рис. 58. К задаче 107.

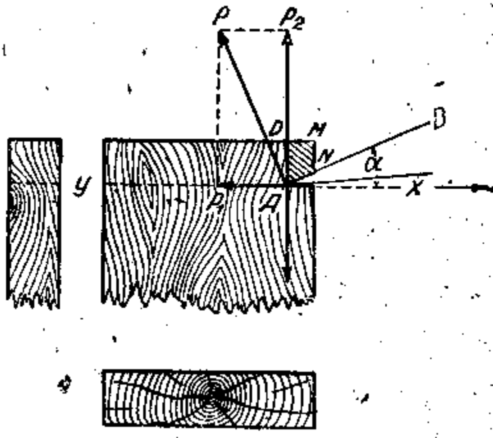


Рис. 59. К задаче 107.

Измерив в масштабе эту силу и сравнив ее с силой P_2 предыдущей задачи, мы видим, что она будет по величине больше.

Таким образом мы заключаем, что при меньшем угле резания и одинаковой, подводимой к резцу силе P_1, мы имеем в своем распоряжении большую силу P_2, необходимую для разъединения элементов дерева или для резания, и отсюда заключаем, что с меньшими углами резания выгоднее производить работу.

107. Какую силу завинчивания гайки (между винтовыми нарезками гайки и болта) мы получим, если будем действовать на гаечный ключ на расстоянии 300 *мм* от центра болта с силой $P_1 = 2$ *кг* при диаметре болта 16 *мм* (рис. 60).

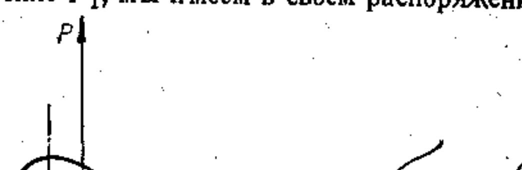


Рис. 60. К задаче 108.

Гаечный ключ можно рассматривать как рычаг второго рода с точкой вращения в центре болта и поэтому можно написать соотношение:

$$\frac{P_2}{P_1}=\frac{CA}{CB}=\frac{2}{P_1}=\frac{8}{300};\ 8P_1=2300;\ P_1=\frac{2\cdot 300}{8}=75\ кг.$$

108. Разложить силу в 20 *кг* на две параллельных, направленных в разные стороны, точки приложения которых должны быть в точках A и B, находящихся по одну сторону от данной силы, причем $AB = 10$ *см* и $CA = 15$ *см*.

Ответ. $P_1=10$ *кг*; $P_2=30$ *кг*.

109. Тали перемещаются по балке (рис. 61), подвешенной в свою очередь при помощи болтов к двум балкам A и B. При положении талей, изображенном на чертеже, определить нагрузку, приходящуюся на каждую балку A и B, если нагрузка талей составляет 1 500 *кг*.

Решение. По условию задачи равнодействующая R двух сил P_1 и P_2, действующих в A и D, равняется 1500 *кг* (рис. 62);

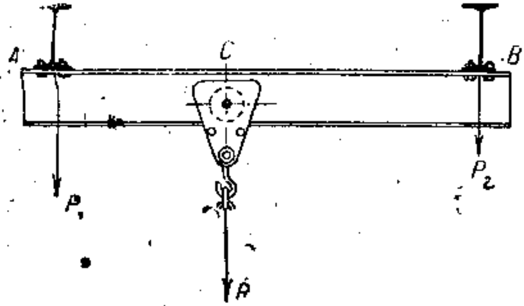


Рис. 61. К задаче 110.

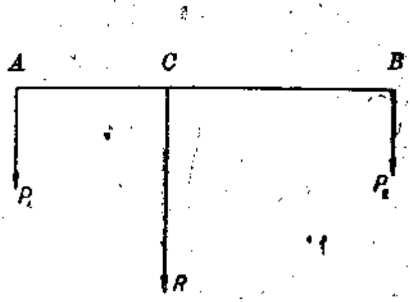


Рис. 62. К задаче 110.

$$R=P_1+P_2;\quad 1500=P_1+P_2;$$

при сложении двух параллельных сил имеем соотношение

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{CB}{CA}=\frac{900}{600}=\frac{3}{2};$$

откуда имеем, что

$$3P_2=2P_1;\ P_1=\frac{3}{2}P_2.$$

Подставляя значение в формулу равнодействующей силы, имеем

$$\frac{3}{2}P_2+P_2=1500;\ \frac{5}{2}P_2=1500;\ P_2=\frac{1500\cdot 2}{5}=600\ кг.$$

$$P_1=R-P_2=1500-600=900\ кг.$$

110. Разложить силу 20 *кг* на две параллельных, направленных в одну сторону, точки приложения которых должны быть в точках A и B, находящихся по обе стороны от данной силы, причем $AB=100$ *см*, $CA=60$ *см* (рис. 63).

Ответ. $P_1=8$ *кг*; $P_2=12$ *кг*.

111. Вал лежит в двух подшипниках A и B, как показано на рисунке, и несет на себе в точке C, находящейся на расстояниях a и $в$ от левой и

правой опор, шкив. Зная, что вес шкива вместе с натяжением составляет $R = 500$ *кг*, определить давления, приходящиеся на каждый подшипник, если расстояние между серединами обоих подшипников $L = 2200$ *мм*, а расстояние $a = 1000$ *мм* (рис. 64).

Решение. $R = P_1 + P_2$; $500 = P_1 + P_2$;

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{b}{a} = \frac{2200 - 1000}{1000} = \frac{1200}{1000} = \frac{6}{5}.$$

Решаем эти уравнения:

$$P_1 = \frac{6}{5} P_2; \quad \frac{6}{5} P_2 + P_2 = 500; \quad \frac{11}{5} P_2 = 500,$$

откуда

$$P_2 = 500 : \frac{11}{5} = 227 \text{ кг},$$

$$P_1 = 500 - 227 = 273.$$

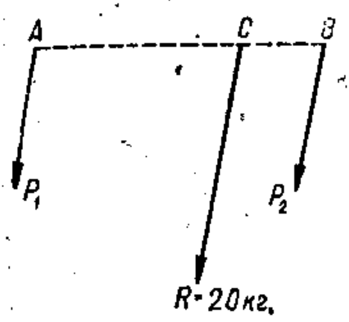


Рис. 63. К задаче 111.

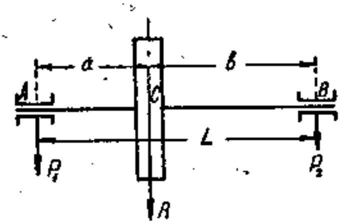


Рис. 64. К задаче 112.

112. Двое рабочих несут груз $R = 110$ *кг* на шесте в 2,7 *м* длиной. Груз находится на расстоянии 1,1 *м* от первого рабочего. Найти, какое давление испытывает каждый рабочий.

Ответ. Давление на первого рабочего равно 65,2 *кг*, давление на второго равно 44,8 *кг*.

113. На рис. 65 изображено приспособление для подъема тяжестей. Какую силу нужно приложить в A, чтобы поднять груз в 140 *кг*, приложенный в B, если $CA = 48$ *см*, а $CB = 6$ *см*.

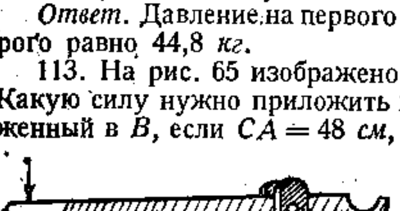


Рис. 65. К задаче 114.

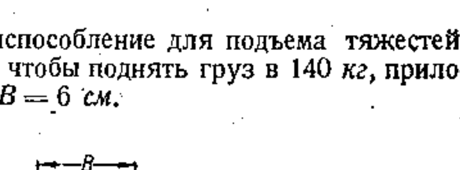


Рис. 66. К задаче 115.

Решение. Сила приложения в $A - P_1$ во столько раз меньше силы, приложенной в точке $B - P_2$, во сколько раз CA больше CB:

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{48}{6}=8;\ P_1=8P_2;\ 140=8P_2;\ P_1=\frac{140}{8}=17,5\ кг.$$

114. Предохранительный клапан, автоматически регулирующий давление пара в котле, средний диаметр которого $5^1/_2$ *см*, весит 3 *кг*.

Расстояние центра клапана от точки опоры рычага $5^1/_2$ *см*.

В какой точке нужно подвесить груз в 8 *кг*, чтобы давление на клапан не превышало 6,5 *кг* на *см*².

Схематическое устройство предохранительного клапана представлено на рис. 66.

В котле вырезается отверстие D, плотно закрываемое клапаном EF. Клапан прикрепляется посредством стержня AK к металлическому рычагу CAB, могущему вращаться в шарнире C. К другому концу B рычага подвешивается груз P_2.

Решение. Пренебрегая весом самого стержня, имеем пример рычага, для которого C есть точка опоры; сила давления пара P_1 действует в точке A и P_2 в точке B.

По условию задачи давление на клапан диаметром $D = 5,5$ *см* не должно превышать $P = 65$ *кг* на квадратный сантиметр и поэтому полное давление пара на клапан

$$P_1=\frac{\pi\cdot D^2\cdot P}{4}=\frac{3,14\cdot 5,5\cdot 5,5\cdot 6,5}{4}=150\ кг.$$

Вычтя из указанного давления 3 *кг* (вес клапана), получим давление P_1, направленное вверх, в 147 *кг*.

По условию равновесия рычага имеем $P_1\cdot AC=P_2\cdot CB$. Подставляя в последнее уравнение данные задачи, получим

$$147\cdot 5,5=8\cdot CB;\ CB=\frac{147\cdot 5,5}{8}\doteq 100\ см.$$

Таково расстояние, на которое нужно подвесить груз P_2, и пока давление в котле меньше, чем P_1 *кг*, груз достаточен для того, чтобы клапан был закрыт. Если же давление пара превзойдет 6,5 *кг* на 1 *см*², то груз в 8 *кг* окажется малым и клапан откроется, дав выход пару до тех пор, пока давление не упадет до безопасной нагрузки.

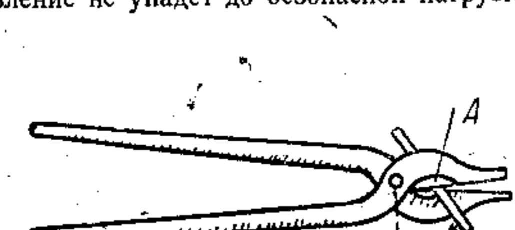


Рис. 67. К задаче 116.

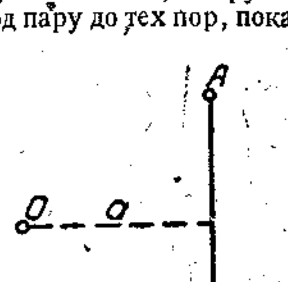


Рис. 68. Статический момент силы относительно точки.

115. На рис. 67 изображены ножницы для резки проволоки. Это пример двойного рычага; точка опоры есть C, а проволока находится в A. Какое сопротивление в A может преодолеть сила в 4 *кг*, приложенная в B, если $BC = 17,5$ *см*, а $CA = 0,4$ *см*.

§ 59. Статический момент силы относительно точки и оси. В зависимости от различных обстоятельств действие сил вызывает поступательное или вращательное движение.

Если какая-нибудь точка тела (рис. 68) неподвижна, т. е. к чему-нибудь прикреплена, то сила P, приложенная в точке A тела, приведет его во вращение и в данном случае благодаря направлению действия силы, указанного стрелкой, начнет вращать тело вокруг точки O по часовой стрелке.

Для вращения тела необходимо, чтобы сила P проходила мимо точки O, и чем дальше она проходит от нее, тем сильнее будет вращаться тело.

Вращательное действие силы зависит от величины силы P и расстояния a, на котором сила проходит мимо точки вращения O, и измеряется произведением $P \cdot a$.

Величина расстояния a—перпендикуляра, опущенного с точки O тела на направление силы, называется плечом силы, а произведение плеча силы на величину силы Pa, называется статическим моментом силы относительно точки O и сама точка O называется центром моментов. Момент силы равен нулю, если плечо равно нулю, т. е. если сила проходит через центр моментов.

Смотря по направлению вращения, различают положительные и отрицательные моменты сил.

Будем считать положительным момент такой силы, которая стремится вращать тело по направлению движения часовой стрелки, и отрицательным, когда сила стремится вращать тело в направлении обратном движению часовой стрелки.

На рис. 69 сила P_1 имеет положительный момент, а силы P_2 и P_3— отрицательные, потому что они обе стараются повернуть тело вокруг точки O против часовой стрелки.

Если мы имеем две силы P_1 и P_2 разной величины (рис. 70), стремящиеся повернуть тело около точки O в разные стороны, то нужно определить, в какую сторону будет вращаться тело и условия равновесия тела.

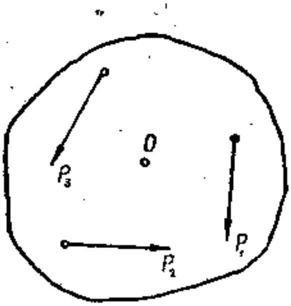


Рис. 69. Положительные и отрицательн. моменты сил.

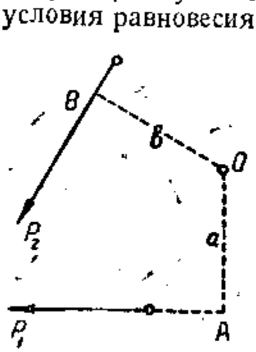


Рис. 70. Условия равновесия 2 сил.

Опустив с точки O перпендикуляр $OA=a$ и $OB=в$ на направления сил, мы получим плечи этих моментов относительно данной точки, и числовая величина первого момента будет равна $P_1 \cdot a_1$, а второго $P_2 \cdot в$.

Надо сравнить между собой моменты $P_1 \cdot a$ и $P_2 \cdot в$. Если момент $P_1 \cdot a$ будет больше момента $P_2 \cdot в$, то тело повернется по часовой стрелке, т. е.

пересилит та сила, чей момент больше, и тело начнет вращаться в сторону направления силы, имеющей больший момент. В том же случае, если оба эти момента равны между собой

$$P_1 \cdot a = P_2 \cdot b,$$

тело останется в покое, и это будет условие равновесия тела.

Перенеся произведение $P_2 b$ в левую часть равенства, получим;

$$P_1 \cdot a - P_2 \cdot b = 0.$$

Исходя из вышеизложенного, можно вывести следующее правило:

Силы, приложенные к твердому телу, взаимно уравновешиваются, если алгебраическая сумма их моментов относительно любой точки плоскости равна нулю.

Если сила лежит в плоскости, перпендикулярной к оси, то момент силы относительно оси равен ее моменту относительно точки пересечения оси с плоскостью.

Так, например M—статический момент силы P, приложенной в точке A относительно оси вала, будет момент этой силы относительно центра вала

$$M = \frac{P \cdot D}{2} \text{ (рис. 71).}$$

Единица момента. Так как момент есть произведение силы на плечо, то за единицу момента следует принять момент силы, равной единице (1 *кг*), действующей на плечо, равное единице длины (1 *м*), и поэтому наименование единицы момента—килограммометр (*кгм*).

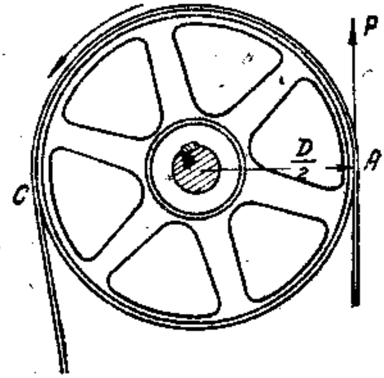


Рис. 71. Статический момент силы относительно оси.

§ 60. Условия равновесия. Рассмотрим, при каких условиях силы, действующие в одной плоскости, приложенные к свободному твердому телу, будут в равновесии.

Возьмем две взаимно-перпендикулярные оси, называемые осями координат. Одну ось OX расположим горизонтально, другую ось OY вертикально (рис. 72).

Предположим, на тело действуют силы P_1, P_2, P_3 и P_4, направленные как угодно.

Разложим каждую силу на горизонтальную X и вертикальную Y составляющие и перенесем точки приложения горизонтальных составляющих на ось OY, а вертикальных на ось OX.

В результате получим группу горизонтальных сил, действующих вправо и влево, и группу вертикальных сил, действующих вверх и вниз.

Равнодействующие этих сил будут:

1) $R_x' = X_1 + X_2$ равно сумме горизонтальных сил, действующих вправо;

2) $R_x'' = X_3 + X_4$ равно сумме горизонтальных сил, действующих

3) $R_y'=Y_1+Y_2$ равно сумме вертикальных сил, действующих вверх.

4) $R_y''=Y_3+Y_4$ равно сумме вертикальных сил, действующих вниз.

Для того чтобы тело не могло переместиться ни в горизонтальном, ни в вертикальном направлениях, необходимо, чтобы

1) $R_x'=-R_x''$ или $R_x'+R_x''=0$,

2) $R'_y=-R_y''$ или $R_y'+R_y''=0$.

Заменяя равнодействующие силы суммой составляющих, обозначаемых в дальнейшем буквой Σ (сигма), получим:

$$\Sigma X=0;\quad \Sigma Y=0.$$

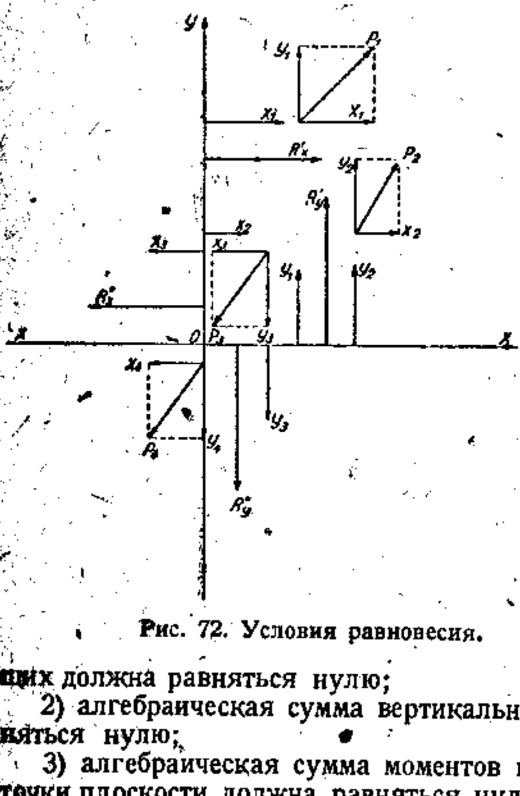


Рис. 72. Условия равновесия.

Указанные два условия не являются достаточными для равновесия; необходимо соблюдение третьего условия, при котором тело не будет иметь вращения.

Третьим условием, как мы видели раньше, является необходимость, чтобы алгебраическая сумма моментов сил относительно любой точки плоскости равнялась нулю. И обозначая попрежнему сумму Σ, получим:

$$\Sigma M=\Sigma Pa=0.$$

Для равновесия сил, приложенных к свободному телу и действующих в одной плоскости, необходимы и достаточны три условия:

1) алгебраическая сумма горизонтальных составляющих должна равняться нулю;

2) алгебраическая сумма вертикальных составляющих должна равняться нулю;

3) алгебраическая сумма моментов всех сил относительно любой точки плоскости должна равняться нулю.

Или

$$\text{а) } \Sigma X=0,\quad \text{б) } \Sigma Y=0,\quad \text{в) } \Sigma M=0. \qquad (65)$$

В случае параллельных сил (вертикальных) горизонтальные составляющие равны нулю; поэтому первое условие отпадает и остаются только два условия

$$\Sigma Y=0,\ \Sigma M=0. \qquad (66)$$

§ 61. Реакции опор. В случае несвободного тела (например вала, опирающегося на подшипники) можно препятствия, стесняющие свободу движения тела (опора) мысленно устранить и вместо них приложить силы, противодействующие препятствию или реакции.

В разобранном выше примере (стр. 107) мы определили давления P_1 и P_2 на подшипники A и B. Если мы будем рассматривать действие подшипников (опор) на вал C, а не вала на подшипники, то мы должны считать силы P_1 и P_2 направленными снизу вверх, т. е. они представят собой реакции опор.

§ 62. Примеры и задачи. 116. Определить реакции опор балки, нагруженной грузами, как показано на рис. 73.

Пролет между стенами равен 10 *м*.

Решение. Обозначим реакцию стены в опорах A и B через R_1 и R_2, причем направлены эти силы вверх.

1) Алгебраическая сумма вертикальных сил должна равняться нулю

$$\Sigma Y=0,$$

$$\Sigma Y=-P_1-P_2-P_3+R_1+R_2.$$

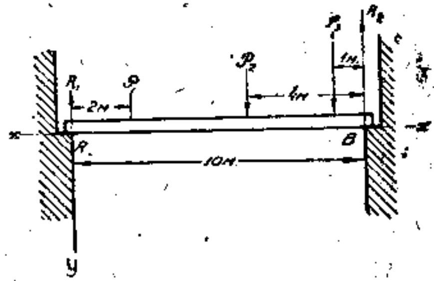


Рис. 73. Определение реакций опор балки.

Силы, направленные вниз, отрицательные со знаком минус; силы, действующие вверх, положительные со знаком плюс. Подставляя в формулу данные численные величины, получим:

$$-2000-3000-5000+R_1+R_2=0,$$

$$10000=R_1+R_2.$$

2) Алгебраическая сумма всех сил относительно любой точки должна равняться нулю:

а) Берем моменты относительно точки A;

$$\Sigma M_A(P)=+2000\cdot 2+3000\cdot 6+5000\cdot 9=-R_2\cdot 10=0.$$

Последнее слагаемое берем со знаком минус, так как момент силы будет направлен против часовой стрелки; все остальные моменты сил—произведение сил на соответствующие плечи—направлены по часовой стрелке, и потому берутся со знаком $+$.

$$4000+18000+45000=10R_2,$$

$$67000=10R_2,$$

$$R_2=\frac{67000}{10}=6700.$$

б) Берем моменты относительно точки B:

$$\Sigma M_B(P)=R_1\cdot 10-2000\cdot 8-3000\cdot 4-5000\cdot 1=0,$$

$$10R_1=16000+12000+5000,$$

$$R_2=\frac{33000}{10}=3300\ \text{кг}.$$

Можно проверить правильность решения задачи.

Необходимо, чтобы сумма действующих сил равнялась сумме реакций опор по первому условию равновесия:

$$R_1+R_2=10000.$$

Подставляя в последнее равенство найденные величины, получим $3300+6700=10000$ *кг*.

Следовательно задача решена правильно.

117. Определить реакции опор круглопильного станка при расположении пильного диска на конце вала (рис. 74) и нижеследующих данных:

1) усилие, приложенное к пиле $P_1=10$ *кг*;

2) натяжение ремня $B-P_2=40$ *кг*;

силы P_1 и P_2 параллельны и направлены в одну сторону;

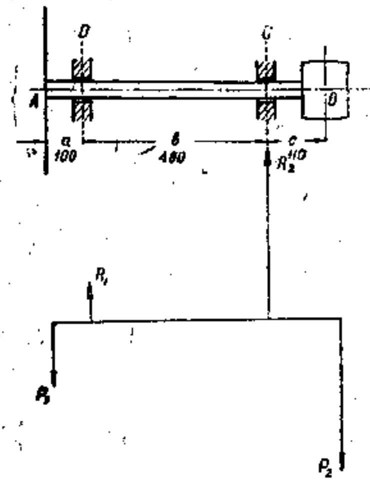


Рис. 74. Реакция опор, круглопильного станка (диск между подшипниками).

3) все другие данные указаны на чертеже.

Решение. Действующие силы, направленные вниз, вызывают реакцию опор, направленные вверх—R_1 и R_2:

1) для определения сил реакций опор возьмем сумму моментов всех сил относительно точки C и приравняем ее нулю.

$$\Sigma M_c(P)=-P_1(a+b)+R_1\cdot b+P_2\cdot c=0,$$
$$-10(100+400)+R_1\cdot 400+40\cdot 110=0,$$
$$-5000+400R_1+4400=0,$$
$$400R_1=5000-4400=600$$
$$R_1=\frac{600}{400}=1{,}5 \text{ кг};$$

2) для определения реакции опоры C возьмем сумму моментов всех сил относительно точки D и приравняем ее нулю.

$$\Sigma M_g(P)=-P_1\cdot a-R_2\cdot b+P_2(c+b)=0,$$
$$-10\cdot 100-R_2\cdot 400+40(110+400)=0,$$
$$400R_2=40\cdot 510-1000=20{,}400-1000=19{,}400,$$
$$R_2=\frac{19{,}400}{400}=48{,}5 \text{ кг}.$$

Правильность решения задачи может быть проверена формулой

$$P_1+P_2=R_1+R_2,$$
$$10+40=1{,}5+48{,}5=50.$$

Следовательно задача решена правильно.

119. Определить реакции опор круглопильного станка при расположении пильного диска между подшипниками (рис. 75) и нижеследующих данных:

1) усилие, приложенное к пиле — $P_1=8$ *кг*;

2) натяжение ремня — $P_2=60$ *кг*; силы P_1 и P_2 — параллельны и направлены в одну сторону;

3) все другие данные указаны на чертеже.

Решение. Нужно определить направление действия реакции опор при действии сил P_1 и P_2 вниз.

Устанавливая, что реакция опоры R_2 направлена вверх, берем сумму моментов всех сил относительно точки A и приравняем ее нулю.

$$\Sigma M_A(P) = P_2 \cdot (a+b+c) - R_2 \cdot (160+200) + P_1 \cdot a = 0,$$

$$60(160+200+140) - R_2 \cdot 360 + 8 \cdot 160 = 0,$$

$$360R_2 = 60 \cdot 500 + 8 \cdot 160 = 30000 + 1280 = 31280,$$

$$R_2 = \frac{31280}{360} = 86{,}8 \text{ кг}.$$

Направление реакции опоры подшипника $A - R_1$ находим, исходя из следующих соображений:

Силы, направленные вниз, обозначаем знаком — силы, направленные вверх (в противоположном направлении), обозначаем знаком +:

$$P_1 = -8;\ P_2 = -60;\ R_2 = +86{,}9;\ R_1 = ?$$

Алгебраическая сумма всех вертикальных сил при равновесии должна быть равна нулю и поэтому

$$P_1 + P_2 + R_1 + R_2 = -8 - 60 + (R_1) + 86{,}9 = 0.$$

Откуда $R_1 = -86{,}9 + 68 = -18{,}9$ *кг*.

Итак, получили силу R_1 со знаком —, т. е. сила направлена вниз.

Теперь проверим правильность полученного последнего результата. Для этого возьмем сумму моментов сил относительно очки C и приравняем ее нулю.

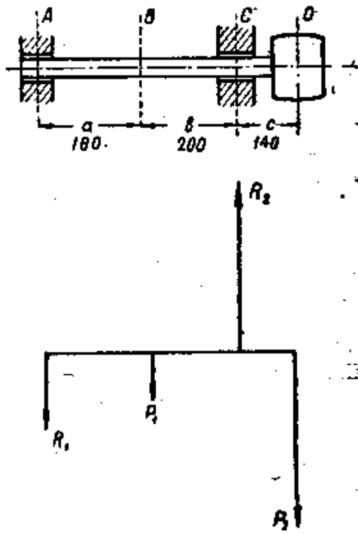


Рис. 75. Реакция опор круглопильного станка (диск между подшипниками).

$$\Sigma M_c(P) = -R_1(a+b) - P_1 \cdot b + P_2 \cdot c = 0,$$

$$-R_1(160+200) - 8 \cdot 200 + 60 \cdot 140 = 0,$$

$$360R_1 = 8400 - 1600 = 6800,$$

$$R_1 = \frac{6800}{360} = 18{,}9 \text{ кг}.$$

Проверка показала, что задача решена правильно.

При всех других случаях определения направления реакции опор при заданных направлениях действующих сил и нагрузок возможно пользоваться приведенным выше способом.

МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА И МОЩНОСТЬ

§ 63. Механическая работа. Каждая сила, перемещающая тело, должна преодолеть известные сопротивления: при подъеме груза—вес его, при перемещении тела по горизонтальной поверхности—трение, при распиловке дерева—сцепление частиц и т. д.

Действие силы выражается в преодолении сопротивления. При этом полное представление о действии силы можно иметь, приняв во внимание величину перемещений, которые силы в состоянии произвести. При поднятии груза на высоту надо применить силу человека или, как говорят, затратить работу. При подъеме груза в 10 *кг* с постоянной скоростью на высоту в 1 *м* человек развивает усилие в 10 *кг* на протяжении 1 *м*. Если потребуется поднять на эту же высоту гирю в 20 *кг*, то придется развить вдвое большее усилие на том же расстоянии в 1 *м*, т. е. произвести вдвое большую работу.

При подъеме 10 *кг* на высоту в 2 *м* человек разовьет усилие то же, что и в первом случае, но будет действовать на вдвое большем расстоянии. Значит, его действие в два раза больше, и следовательно он произведет во столько же раз большую работу.

Наконец, поднимая груз в 20 *кг* на высоту в 3 *м*, придется сделать усилие в 20 *кг*, и следовательно на каждом метре подъема действие будет вдвое больше, чем в первом случае, а на протяжении всех трех метров в $2 \cdot 3 = 6$ раз больше, чем в первом случае.

Итак, работы потребуется тем больше, чем больше вес груза и чем на большую высоту его надо переместить. Поэтому считают работу равной произведению действующей силы на величину перемещения. Сила измеряется в мерах веса, перемещение (пройденный путь)—в мерах длины. Следовательно работа измеряется произведением мер веса (*кг*) на меры длины (*м*).

В технической системе это будут килограммометры, обозначаемые сокращенно «*кгм*». В нашем примере работа соответственно равна:

первый	случай	—	работа	$=10$ *кг*	$\times 1$ *м*	$=10$	*кгм*,
второй	»	—	»	$=20$ »	$\times 1$ »	$=20$	»
третий	»	—	»	$=10$ »	$\times 2$ »	$=20$	»
четвертый	»	—	»	$=20$ »	$\times 3$ »	$=60$	»

Итак, **механическая работа равна произведению силы на пройденный путь, если путь и сила одинаково направлены.**

Поэтому механическую работу, обозначаемую буквой A, можно выразить следующей формулой:

$$A = P \cdot S \tag{67}$$

где P—сила в *кг* и S—путь в *м*.

За единицу механической работы принимается та работа, которая выражается в преодолении сопротивления в 1 *кг* на протяжении 1 *м*. Эта единица механической работы называется килограммометром.

Таким образом если речь идет например о работе в 100 *кгм*, то под этим можно разуметь работу, которая произведена:

силой	$P = 100$ *кг*	на протяжении	пути	$S = 1$ *м*
или	$P_1 = 1$ » »	»	»	$S_1 = 100$ »
»	$P_2 = 25$ » »	»	»	$S_2 = 4$ »
»	$P_3 = 4$ » »	»	»	$S_3 = 25$ »
»	$P_4 = 10$ » »	»	»	$S_4 = 10$ »

так как во всех этих случаях произведение величины силы на путь, или механическая работа, равно 100 *кгм*.

При необходимости определения P и S по известным данным имеем следующие формулы:

$$P = A(кгм) : S(м) \quad (67а)$$

$$S = A(кгм) : P(м) \quad (67б)$$

Здесь же мы должны провести ясное различие между понятиями «сила» и «механическая работа», которые часто смешивают.

Сила представляет причину, механическая работа—результат (не всегда неизбежный) действия силы; сила представляет только одну составную часть механической работы, другая составная часть которой составляет путь, пройденный точкой приложения силы. Таким образом сила может только тогда производить механическую работу, когда она действительно в состоянии переместить тело, к которому она приложена. В противном случае действие силы проявится только в давлении на тело, работа же силы будет равна нулю.

В заключение следует несколько слов сказать о так называемом «золотом правиле» механики.

В разобранных выше примерах мы видели, что при равной затрате работы, но при меньшей затрате силы путь должен быть увеличен во столько же раз, во сколько была ослаблена сила и наоборот. Поэтому никогда не может быть устроен такой механизм, который позволил бы нам произвести определенную работу с незначительной силой, не увеличивая соответственно пути; следовательно мы ничего не можем выиграть в силе, не теряя одновременно в длине пути.

Ясно, что меньшая затрата силы возможна лишь потому, что она действует на протяжении большего пути (сила уменьшается, а расстояние увеличивается). Действие всех машин (рычаги, лебедки, зубчатые колеса и пр.) подтверждает этот принцип. В этом состоит так называемое «золотое правило» механики:

сколько сберегается в силе, столько теряется в пройденном пути.

§ 64. Мощность, единицы мощности. В формуле (67) механическая работа выражается через произведение силы P на путь S; в выражение работы не входит время, в течение которого произведена эта работа.

По одной только работе о работоспособности судить нельзя. В самом деле, лошадь и человек могут передвинуть один и тот же большой груз на одинаковое расстояние.

Разница только во времени, необходимом каждому. Лошадь может быть это сделает сразу; человек будет передвигать по частям и затратит гораздо больше времени.

При сравнении между собой работы различных сил необходимо сравнивать те работы, которые данные силы проводят **в течение одного и того же времени.**

О работоспособности можно судить, определяя работу в единицу времени.

Работа, производимая силой в единицу времени, называется мощностью.

Так как $A=P \cdot S$, то мощность будет равна $E=\frac{P \cdot S}{t}$, где t—время в секундах.

Так как из предыдущего мы знаем, что $\frac{S}{t}=V$, то формула мощности примет выражение $E=P \cdot V$ *кгм/сек* («*кгм* [в секунду»). (68)

Единица мощности равна килограммометру в секунду или короче *кгм/сек.*

Лошадиная сила. Машины вообще обладают большой мощностью и при указанной системе мер для выражения мощности получились бы весьма большие, неудобные для счета числа.

Поэтому при пользовании машинами принимается **за единицу мощность, равная** 75 *кгм/сек* (**секундная работа в 75 килограммометров**).

Эта единица мощности называется **лошадиной силой.** Она обозначается так: *л. с.*, *PS* (германское обозначение) и *HP* (английское обозначение).

Мы будем пользоваться главным образом первым обозначением:

$$1 \text{ л. с.}=75 \text{ кгм/сек.}$$

При обозначении мощности N (эн) в *л. с.* получим из формулы, что

$$N=\frac{P \cdot V}{75} \text{ л. с.,} \tag{69}$$

откуда следует

$$P=\frac{75 \cdot N}{V} \text{ кг,} \tag{69а}$$

$$V=\frac{75 \cdot N}{P} \text{ м/сек.} \tag{69б}$$

Нужно сказать, что название «лошадиная сила» очень неудачно. Получается впечатление, что мощность измеряется теми же мерами, как и сила, т. е. *кг*. На самом деле, как известно, мощность измеряется килограммометрами в секунду. Однако это название до сего времени имеет широкое распространение. Пользуясь им, нужно все время помнить, что *л. с.*— это единица мощности. Следует заметить, что работа так называемой лошадиной силы принимается условно, так как на самом деле средняя производительность обыкновенной лошади составляет только 50 *кгм/сек* или $^2/_3$ машинной лошадиной силы.

Единицы мощности электротехнические. В электротехнике единицей для измерения мощности служит ватт. Сто ваттов составляют гектоватт. Для измерения мощности электромоторов служит обыкновенно киловатт, равный 1 000 ваттам и 1,36 *л. с.*

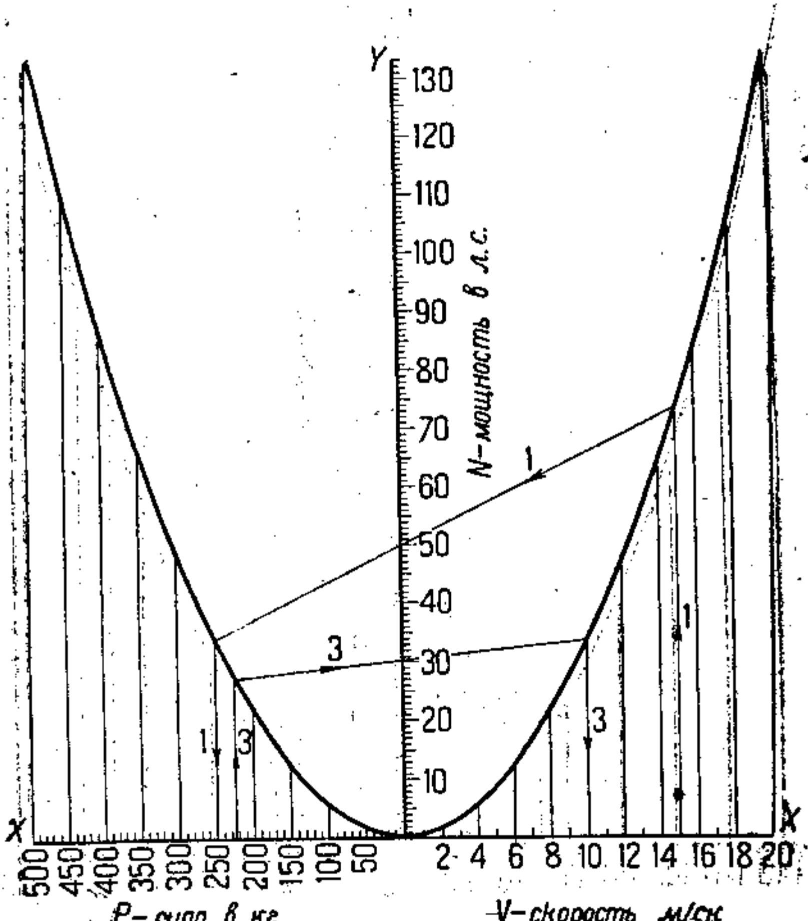
Итак, 1 киловатт=1 000 ваттам=1,36 *л. с.*=102 *кгм/сек*,

1 *л. с.*=75 *кгм/сек*=736 ваттам=0,736 киловаттам,

1 ватт$=\frac{1}{736}$ *л. с.*=0,102 *кгм/сек*.

§ 65. Номограммы для расчета *N*, *P* и *V*. Для графического расчета усилий, скоростей и мощности могут служить номограммы VII и VIII, на которых представлено уравнение

$$N=\frac{P\cdot V}{75}.$$



Номограмма VII.

Номограмма VII составлена для скоростей от 0 до 20 *м/сек*, номограмма VIII составлена для скоростей от 0 до 60 *м/сек*.

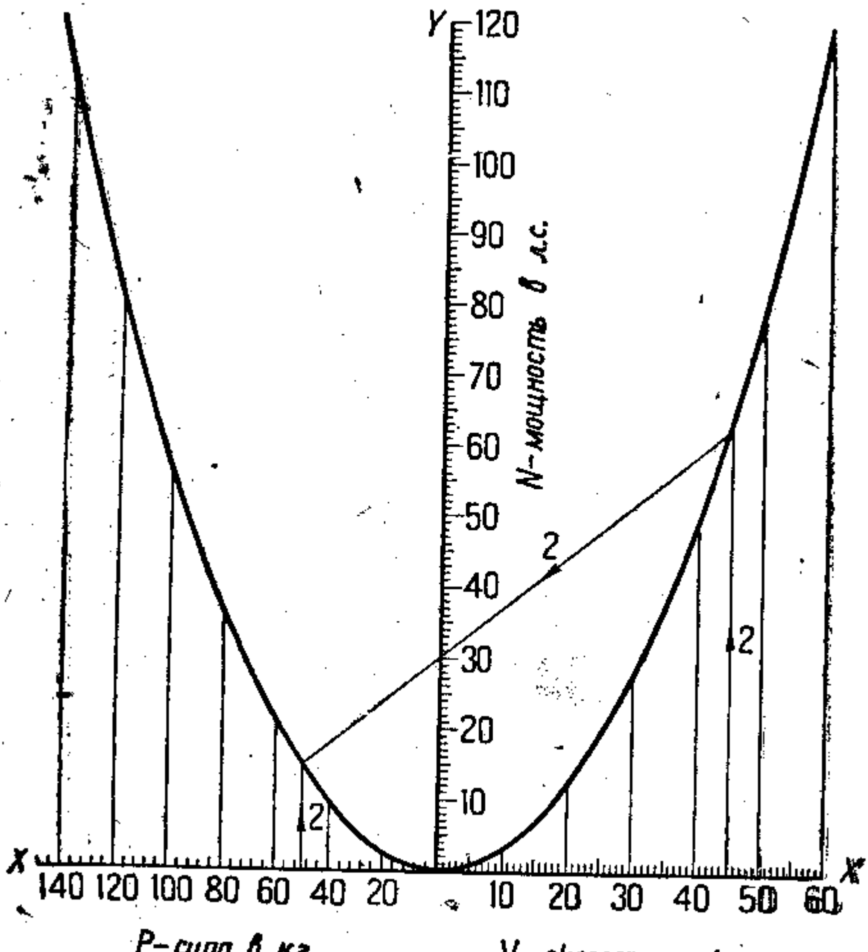
На положительном направлении оси X представлены скорости V *м/сек*, на отрицательном направлении оси X нанесены усилия P в *кг*.

По оси $У$ отложена мощность N в *л. с.*

Способ пользования графиком нижеследующий:

З а д а ч а 1. Определить окружное усилие P, если известно, что шкив, имеющий окружную скорость $V=15$ *м/сек*, передает мощность $N=50$ *л. с.*

На номограмме VII через деление 15 масштаба скоростей V проводим вертикаль до пересечения с параболой, точки пересечения соединяем с делением 50 масштаба мощности и продолжаем эту прямую до пересечения с параболой и затем через эту точку пересечения проводим вертикаль, которая пересечет масштаб усилий P в делении 250; следовательно искомый результат $P=250$ *кг*.



Номограмма VIII

З а д а ч а 2. Требуется определить N мощность, потребную на пиление круглопильного станка, если известно, что сопротивление резанию $P=50$ *кг* и окружная скорость $V=45$ *м/сек*.

На номограмме VIII через деление масштаба сил $P=50$ *кг* и через деление 45 масштаба скорости V проводим вертикаль до пересечения с параболой и точки пересечения параболы соединяем прямой.

Точка пересечения этой прямой с масштабом мощности дает искомое решение: $N=30$ *л. с.*

З а д а ч а 3. Определить окружную скорость шкива, если известно, что окружное усилие $P=225$ *кг* и передаваемая мощность $N=30$ *л. с.*

На номограмме VII через деление масштаба усилий $P=225$ *кг* проводим вертикаль до пересечения с параболой, точку пересечения соединяем с делением 30 масштаба мощности и продолжаем эту прямую до пересечения с параболой и затем через точку пересечения с параболой проводим вертикаль, которая пересечет масштаб скоростей в делении 10; следовательно искомый результат $V=10$ *м/сек.*

ГЛАВА XI

МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА, ПРОИЗВОДИМАЯ МАШИНАМИ

Коэфициент полезного действия

§ 66. Машина. Вредные и полезные сопротивления. Машиной называется соединение тел, совершающих под влиянием действующей силы определенные целесообразные движения, в результате чего является некоторая полезная работа.

Полезной работой называется та работа, для совершения которой машина предназначена.

Вычисляя работу какой угодно машины, мы неизменно наталкиваемся на тот факт, что энергия, получаемая ею в том или ином виде, отдается лишь частью на совершение той работы, которая является целью этой машины.

Если мы выясним работу, совершаемую круглопильным станком при распиловке дерева определенных размеров, то окажется, что работа эта меньше той работы, которую станок получает на шкиве от ремня. Сущность этого явления заключается в том, что помимо сопротивления, на преодоление которого станок рассчитан, т. е. так называемого *полезного сопротивления*, отдельные части механизма станка при своем движении испытывают еще силы сопротивления, называемые *вредными сопротивлениями*, главнейшим из которых является *сила трения*.

Так, в круглопильном станке с механической подачей сила трения имеет место в подшипниках пильного вала, в зубчатых передачах и прочих частях подающего механизма.

Воздух также оказывает сопротивление движению отдельных частей машины. Очевидно, на *преодоление* этих вредных сопротивлений требуется *затрата* определенной работы, на величину которой и *уменьшается* полезная работа, отдаваемая машиной.

Поэтому полная работа машины может быть разделена на две части:

1) *вредную работу*, идущую на преодоление вредных сопротивлений в самой машине;

2) *полезную работу*, затрачиваемую на преодоление полезных сопротивлений, как например полезная работа лесопильной рамы есть работа пиления.

Полезная работа еще называется *действительной* или *эфективной* работой.

Таким образом получается следующее равенство (при установившейся работе):

полная работа = вредной работе + полезная работа

Из этого равенства, с одной стороны, следует, что полезная работа всегда меньше работы движущей силы (полной работы); с другой стороны, если известны две из трех данных работ, то можно простым сложением и вычитанием определить третью. Понятно, что вышеприведенное равенство справедливо только в том случае, когда все три работы вычислены для одного и того же промежутка времени.

§ 67. Коэфициент полезного действия (сокращенно к. п. д.). К. п. д. есть отношение полезной работы к полной. Обозначая к. п. д. греческой буквой η (эта), полезную работу через N и через N_1—полную работу, получим:

$$\eta=\frac{N}{N_1} \tag{70}$$

$$\text{К. п. д.}=\frac{\text{полезная работа}}{\text{полная работа}}$$

откуда

$$N=\eta N_1 \tag{70а}$$

и

$$N_1=\frac{N}{\eta}. \tag{70б}$$

К. п. д. есть число отвлеченное и всегда меньше единицы, так как нет такой машины, которая давала бы столько же работы, сколько на нее затратили.

Машина тем совершеннее, чем к. п. д. ее ближе к 1.

Всякая машина состоит из ряда отдельных более простых механизмов. Пусть например сложная машина состоит из трех простых механизмов.

Если энергию, получаемую первым механизмом, обозначим через N_1, а к. п. д. его—через η_1, то второй механизм получим лишь

$$N_2=N_1\eta_1.$$

Если обозначим к. п. д. второго механизма через η_2, то третий механизм будем получать лишь

$$N_3=N_2\cdot\eta_2=N_1\cdot\eta_1\cdot\eta_2.$$

Третий механизм, к. п. д. которого—η_3, эту работу принимает и отдает полезную работу, равную

$$N=N_3\cdot\eta_3=N_1\cdot\eta_1\cdot\eta_2\cdot\eta_3.$$

Отношение же $\frac{N}{N_1}$ представляет собой полный к. п. д. всей машины. Обозначив его через η, получим

$$\eta=\eta_1\cdot\eta_2\cdot\eta_3 \tag{71}$$

Как видим, полный к. п. д. машины равняется произведению частных к. п. д. отдельных звеньев, составляющих ее.

$$\eta_1=0,92,$$

для двух пар

$$\eta=\eta_1\cdot\eta_2=0,92\cdot0,92=0,846.$$

Для лебедки, состоящей из двух пар зубчатых колес и канатного барабана

$$\eta=\eta_1\cdot\eta_2\cdot\eta_3=0,92\cdot0,92\cdot0,94=0,79.$$

§ 68. Работа и мощность при вращательном движении. Вращательное движение тела отличается от поступательного движения тем, что в первом случае пути, проходимые различными точками тела, находящимися на различных расстояниях от оси вращения, за данный промежуток времени, не равны между собой.

Поэтому, говоря о работе силы, приложенной к поступательно перемещающемуся телу, мы можем брать произведение из силы на путь, описанный любой точкой тела. При вращательном же движении пути, описываемые различными точками тела, различны, и поэтому для вычисления работы, совершаемой приложенной к телу силой, следует брать путь, описываемый именно точкой приложения этой силы. Чтобы вычислить работу, совершаемую на шкиве машины, придется о к р у ж н о е у с и л и е, действующее на окружности этого шкива, умножить на дугу, описываемую за этот промежуток времени точкой на окружности шкива.

Равномерно вращающийся шкив передает окружное усилие, равное *P кг*. Обозначив окружную скорость этого шкива через *V м/сек*, мы получим работу, совершаемую окружным усилием в 1 сек., равной $E = P\cdot V$ *км/сек.*

Мощность же в лошадиных силах будет равна:

$$N=\frac{P\cdot V}{75}\ \text{л. с.}$$

Таким образом, зная линейную скорость точки приложения силы, мы можем определить мощность, развиваемую последней.

Так как при решении всякого рода задач, связанных с вращательным движением, скорость последнего обыкновенно задается числом оборотов, то выразим в последнем уравнении линейную скорость V в зависимости от числа оборотов в минуту n, воспользовавшись выведенным в свое время соотношением

$$V=\frac{\pi\cdot D\cdot h}{60}.$$

Подставляя это значение, получаем

$$N=\frac{P\cdot\pi\cdot D\cdot n}{75\cdot60}=\frac{P\cdot\pi\cdot R\cdot n}{75\cdot30}.$$

Выражая радиус R в *см* и взяв $\pi=3,14$, получаем

$$N=\frac{3,14\cdot P\cdot R\cdot n}{75\cdot30\cdot100}=\frac{3,14}{225000}P\cdot R\cdot n=\frac{P\cdot R\cdot n}{71620}.$$

Из этой формулы окружное усилие

$$P=71620\,\frac{N}{n\cdot R}\ \text{кг} \qquad (72)$$

(если радиус R выражен в *см*),

$$P=716,2\ \frac{N}{n\cdot R}\ кг \qquad (72a)$$

(если радиус R выражен в *м*)

§ 69. Расчет мощности паровой машины. Для уяснения явлений движения в паровой машине мы в самых кратких чертах рассмотрим схему работы паровой машины.

На рис. 76 представлен цилиндр, в котором находится поршень b, к которому прикрепляется шток III одним своим концом, а другой его конец соединяется с крейцкопфом k.

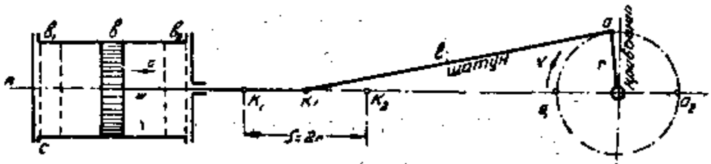


Рис. 76. Схема работы паровой машины.

С этим крейцкопфом (или ползуном) посредством шарнира соединен шатун l, который другим своим концом насажен на палец кривошипа r; кривошип наглухо соединен с валом машины O. На этом валу сидит маховое колесо.

Вследствие действия органов парораспределения пар поступает в цилиндр попеременно, то с одной стороны поршня — слева, то с другой стороны — справа. Поэтому под давлением пара поршень движется то в одну сторону, то обратно — в другую. Так как с поршнем соединен шток, то движения поршня в свою очередь приводят в движение шатун l, который производит вращение кривошипа r и вала O. Крайние положения поршня: левое — b_1 и правое в b_2, когда шток, шатун и кривошип образуют прямую линию, называются мертвыми положениями.

Перемещение поршня из одного мертвого положения в другое называется ходом поршня и равно двум радиусам кривошипа ($S = 2r$).

При расчете мощности мы ограничиваемся машинами двойного действия, работающими без расширения, так что пар давит попеременно с обеих сторон поршня и притом с одной силой на протяжении всего хода.

И в данном случае мы определим сначала величину движущей силы в килограммах и путь, пройденный точкой приложения — в метрах. Перемножая обе величины, получим работу, выраженную в килограммометрах.

Если разность давлений по обе стороны поршня цилиндра составляет p *ат*, т. е. p *кг* на *см*^{2}, то при диаметре поршня d *см* будет иметь общее рабочее давление на поршень:

$$P=F\cdot p\cdot кг,$$

где площадь поршня $F=\frac{\pi\cdot d^2}{4}$ (площадь круга), откуда

$$P=\frac{\pi\cdot d^2}{4}\cdot p\ кг$$

Если величина хода поршня равна S *м*, число оборотов главного вала в минуту — n, то принимая во внимание, что при каждом обороте вала поршень делает двойной ход, весь путь в минуту при n оборотах будет равен $2 \cdot S \cdot n$.

Средняя скорость есть отношени. пройденного пути к истекшему времени. Поэтому средняя скорость поршня V_c будет ровняться:

$$V_c = \frac{2 \cdot S \cdot n}{60} = \frac{S \cdot n}{30} \text{ м/сек.}$$

Отсюда мощность пара равна.

$$E = P \cdot V_c = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot p \cdot s \cdot n}{4 \cdot 30} \text{ кг/сек}$$

или в *л. с.*

$$N_i = \frac{E}{75} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot p \cdot s \cdot n}{4 \cdot 30 \cdot 75} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot p \cdot s \cdot n}{9000} \qquad (73)$$

Последняя формула выражает мощность, развиваемую паром в ц и л и н д р е.

Так как паровая машина отдает на валу N_e *л. с.* величину меньшую, чем N_i, то механический к. п. д. машины, показывающий, какая часть механической энергии, получаемой машиной, используется за вычетом трения и других потерь в самой паровой машине, будет равен:

$$\eta = \frac{N_e}{N_i}$$

Так, например если имеем паровую машину без расширения с поршнем диаметром в 40 *см* и длиной хода 75 *см*, главный вал которой делает 36 об/мин, то при разности давления в 4 *ат* получим мощность, развиваемую паром, если в формулу (28) вставить:

$$d = 40;\ S = 0{,}75;\ n = 36;\ p = 4,$$

а именно

$$N_i = \frac{3{,}14 \cdot 40 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 0{,}75 \cdot 36}{9000} = 60{,}3 \text{ л. с.}$$

Если полезная мощность на валу двигателя

$$N_e = 40 \text{ л. с.},$$

$$\eta = \frac{N_e}{N_i} = \frac{40}{60{,}3} = 0{,}67 (67\%).$$

В машинах с расширением пара давление не остается постоянным на всем ходе поршня, и для подсчета мощности пользуются величиной среднего давления пара, понимая под ним такое давление, которое, оставаясь неизменным по всей длине хода поршня, давало бы ту же работу, как и переменное давление в машинах с расширением пара.

§ 70. Графическое изображение работы. Всякая механическая работа представляет собою произведение двух величин: силы на путь и поэтому можно ее изобразить следующим образом: проводим под прямым углом две линии, одну линию AB, изображающую в каком-либо условном масштабе силу, другую BC — путь (рис. 77) и построим на них прямоугольник.

Механическую работу можно изобразить в виде площади прямоугольника $ABCD$, так как известно, что площадь прямоугольника равняется произведению основания BC, изображающего путь — S, на высоту AB, изображающую силу — P.

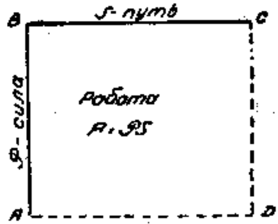


Рис. 77. Графическое изображение работы.

Если возьмем для силы P — масштаб 1 *см* за 1 *кг*, а для пройденного пути S — 1 *см* за 1 *м*, и если $P = 6$ *кг* и $S = 8$ *см*, то площадь $ABCD$ будет равна $PS = 68 = 48$ *см*^{2} и работа будет заключать в себе 48 *кгм*, т. е. столько килограммометров, сколько квадратных сантиметров в площади $ABCD$.

§ 71. Измерение работы индикатором. Работа пара машин двойного действия, работающих без расширения, за один ход поршня может быть выражена площадью прямоугольника $ABCD$, у которого основание AB изображает общее давление пара на поршень — P и BC — длину хода поршня.

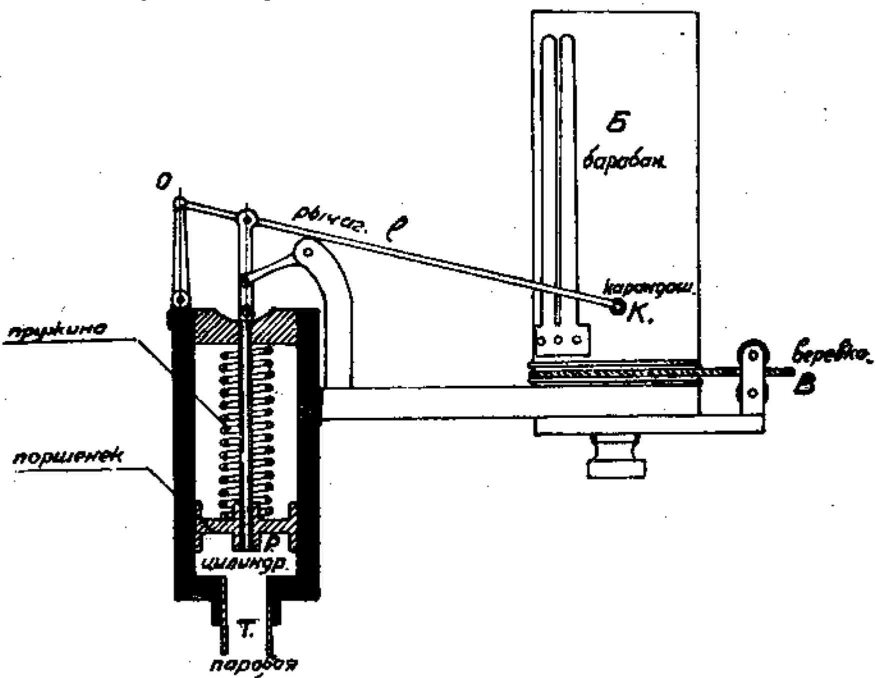


Рис. 78. Устройство индикатора.

Указанные выше машины, при которых давление пара является постоянной величиной, не имеют распространения. Чаще всего в целях избежания излишней затраты мощности давление пара на поршень является величиной переменной, потому что пар наполняет паровой цилиндр лишь на какой-либо части хода поршня и выпущенному пару дается возможность расширяться до конца хода поршня, причем давление пара уменьшается, а объем его увеличивается.

Ясно, что в данном случае вычислить силу, прилагаемую паром к поршню, гораздо сложнее, так как пар не развивает одного и того же давления на протяжении всего хода.

Но все же мы знаем, что, определив среднее давление на протяжении всего хода поршня, возможно вычислить мощность, развиваемую паром.

Чтобы получить наглядную картину работы пара в машине, внутреннее пространство цилиндра соединяют с особым прибором — индикатором и снимают так называемую **индикаторную диаграмму**.

Устройство индикатора (рис. 78) состоит в следующем:

Через паровую трубку T, соединенную с паровым цилиндром машины, проходит пар в маленький вертикальный цилиндрик и производит давление на маленький поршенек P.

На другую сторону поршенька давит пружина. Когда сила давления пара больше силы давления пружины, то поршенек идет вверх и приводит во вращение рычаг l, который прикреплен в точке C, а на свободном конце имеет карандаш K, движущийся по бумажной ленте, обернутой вокруг барабана $Б$.

Так как поршенек индикатора движется прямолинейно, то карандаш вычерчивал бы, если бы бумажная лента была неподвижна, прямую линию, по началу и концу которой можно было бы судить только о наибольшем и наименьшем давлении пара.

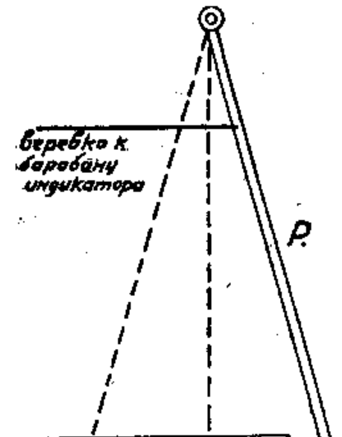


Рис. 79. Устройство индикатора.

Для того чтобы карандаш вычертил замкнутую кривую, так называемую индикаторную диаграмму, по которой можно было бы определить произведенную машиной работу, приводят в движение барабан $Б$, который вращается на вертикальном стержне в одном направлении при помощи веревки, прикрепленной к рычагу P, соединенному со штоком машины (рис. 79), а в другом при помощи особой пружины.

Теперь разберем конкретный пример получения индикаторной диаграммы и вычисления по ней мощности пара, развиваемой в цилиндре паровой машины.

Вначале под давлением пара поршенек поднимается до определенной высоты; при этом на диаграмме (рис. 80) карандаш вычерчивает линию AB и держится на этой высоте, пока пар имеет полное давление (линия BC диаграммы).

После прекращения впуска пара, как мы видели раньше, давление падает, и поршенек и карандаш опускаются и вычерчивают линию CD; линия D_1A проводится во время обратного хода, когда поршенек индикатора подвергался давлению только в конце хода.

Итак, на рис. 80 мы имеем диаграмму, снятую при помощи индикатора, и теперь остается вычислить по ней мощность.

На горизонтальной шкале указаны длина хода поршня в *см*, а на вертикальной шкале — давление пара в *кг* на *см*².

Определить по этой диаграмме среднее давление не представляет никаких трудностей.

Для этого достаточно провести ряд вертикальных линий на равном друг от друга расстоянии от AD до BCD. Измерив длину этих линий, сложим их и полученную сумму разделим на число линий.

Частное, полученное в результате деления, и даст нам среднюю длину в определенном масштабе, выражающую среднее давление пара на длине хода. Положим, что среднее давление для данного случая равняется 5 *кг* на *см*².

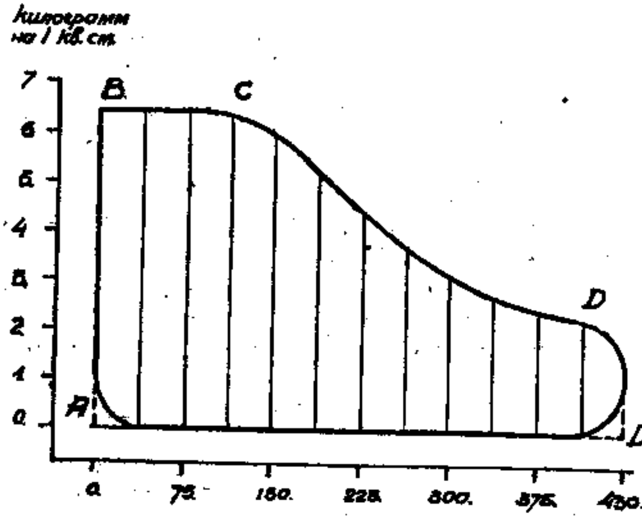


Рис. 80. Индикаторная система.

Зная S — длину хода поршня, равную 450 *мм*, площадь поршня $F = 600$ *см*² и число оборотов вала в минуту $h = 120$, по известной нам формуле возможно определить мощность пара в *л. с.*, а именно:

$$N_1 = \frac{F \cdot p \cdot S \cdot n}{30 \cdot 75} = \frac{600 \cdot 5 \cdot 0,45 \cdot 120}{30 \cdot 75} = 72 \text{ л. с.}$$

Разбор данной индикаторной диаграммы показывает, что по ней возможно легко определить среднюю силу (давление p), прилагаемую паром к поршню на протяжении его хода в машинах с расширением пара, а следовательно и рассчитать мощность пара, развиваемую в цилиндре паровой машины.

§ 72. Мощность лесопильно-деревообделочных станков. Вопрос о мощности, потребляемой лесопильно-деревообделочными станками, до сего времени не исследован в достаточной степени.

Для определения теоретической мощности, потребляемой станками, имеются формулы, основанные на следующей зависимости: расход энергии на пиление почти пропорционален объему превращенной в опилки древесины. Основные формулы Фишера-Денфера по каждому виду станков нами будут приведены ниже.

Для определения коэфициентов сопротивления при резании, зависящих от свойств, состояния и породы дерева, формы пильных зубьев, степени их затупления, относительного пути пилы и направления волокон, скорости резания, скорости подачи и пр., необходимы длительные опыты и исследования.

Ввиду чрезвычайно малого количества исследований над лесопильно-деревообделочными станками, в достаточной мере не изучены все указанные факторы, влияющие на величину коэфициентов, которые конечно зависят в большей мере и от самих исследуемых станков, и поэтому результаты, получаемые на основании приведенных ниже формул, дают сугубо ориентировочные данные для расчета мощностей, потребных на пиление.

§ 73. Мощность, потребляемая на полезную работу пиления круглыми пилами. Сопротивление резанию P подсчитывается по следующей формуле:

$$P=K\cdot Sh\cdot\frac{U}{V}, \tag{74}$$

где P—сопротивление резанию в *кг*,

S—толщина пильного диска в *мм*,

U - скорость подачи в *мм/сек*,

V—скорость резания в *мм/сек*,

K—коэфициенты сопротивления резанию, учитывающие состояние и породу дерева, колеблющиеся от 10 до 24.

Полезная мощность, потребляемая на пиление в *л. с.*, выражается формулой

$$N=\frac{P\cdot V}{75},$$

где P—сопротивление резанию в *кг*, V—скорость резания в *м/сек*, определяются по вышеприведенным формулам.

§ 74. Мощность, потребляемая на полезную работу пиления лесопильными рамами. P—сопротивление резанию на все пилы в *кг* выражается формулой:

$$P=K\cdot S\cdot\Sigma h\cdot\frac{\Delta}{H}. \tag{75}$$

S—толщина одной пилы в *мм*, Σh—суммарная высота пропилов в *мм* получается в результате сложения пропилов, произведенных каждой пилой (по среднему сечению бревна), Δ—величина подачи за один оборот вала рамы в *мм*, H—длина хода рамы в *мм*, K—коэфициент, зависящий от породы дерева,строения древесины, направления волокон. Величина этого коэфициента колеблется от 10 до 24.

Для наших пород берутся следующие значения: для сырой ели летом=10, для сосны=11—12, для березы=13.

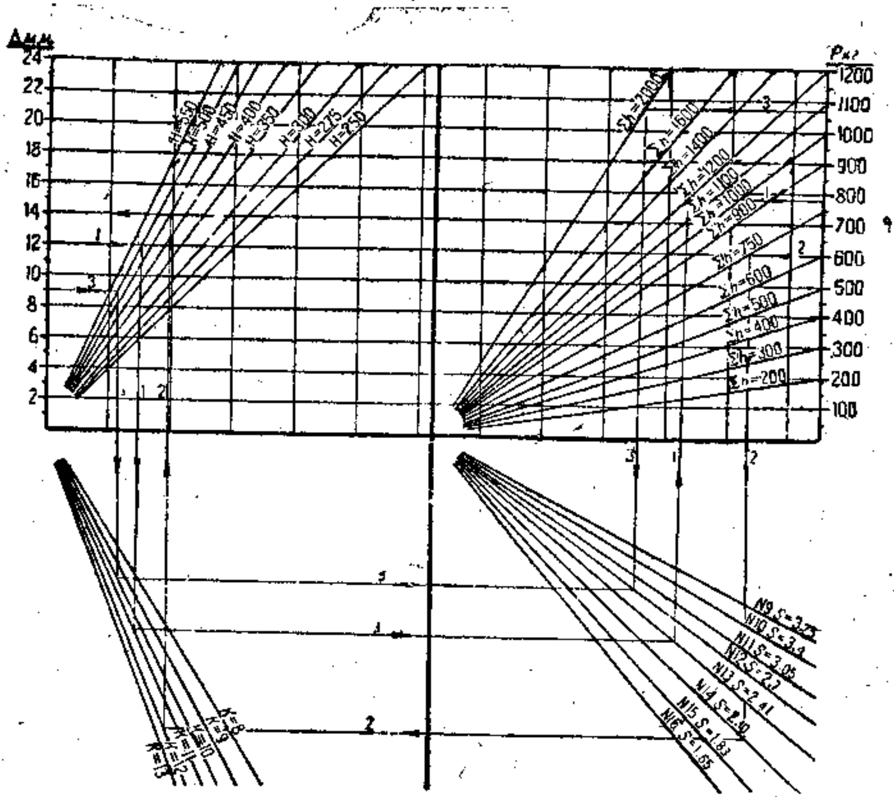
Полезная мощность, потребная на пиление N в *л. с.*, рассчитывается по формуле:

$$N=\frac{P\cdot V}{2\cdot 75}\ \text{л. с.},$$

где P—сопротивление резанию в *кг*, V—средняя скорость резания лесопильной рамы в *м/сек* определяется по вышеприведенным формулам.

Для расчета полной мощности, потребляемой станками, необходимо, как выше уже сказано, знать мощность, потребную для преодоления вредных сопротивлений (трения) или к. п. д. станка.

В нижеприведенных примерах и задачах подробно разобраны расчеты потребляемой разными станками мощности при различных условиях работы.



Номограмма IX.

§ 75. **Номограмма IX для расчета по формуле. Денфера.** Зависимость сопротивления резанию P на все пилы в лесопильной раме в *кг* от

1) длины хода рамы—H,
2) коэфициента, учитывающего породу и состояние дерева—K,
3) толщины пилы—S,
4) высоты пропилов—Σh и
5) подачи за один оборот вала рамы Δ, выраженного вышеуказанной формулой

$$P=K\cdot S\cdot \Sigma h\cdot \frac{\Delta}{H}$$

представлена графически на номограмме.

Приводим примеры пользования номограммой.

Задача 1. Определить сопротивление резанию при нижеследующих данных:

1) длина хода рамы $H=0{,}5$ *м*,
2) распиливается сосна: $K=11$,
3) толщина пилы $S=2{,}41$ *мм*,
4) высота пропилов $\Sigma h=1\,200$ *мм*,
5) подача за один оборот вала рамы $\Delta=12$ *мм*.

Через деление 12 масштаба для подач Δ (наружная ось у первого квадранта) проводим горизонталь до пересечения с лучом первого квадранта, отвечающем значению $H = 500$; через точку пересечения проводим вертикаль до пересечения с лучом второго квадранта, соответствующим $K = 11$; далее проводим горизонталь до пересечения с лучом третьего квадранта, отвечающим значению $S = 2{,}41$; затем — снова вертикаль до пересечения с лучом четвертого квадранта, соответствующим значению $\Sigma h = 1200$ и наконец из точки пересечения проводим горизонталь до пересечения с масштабом для сопротивления резанию P, на каковой и прочтем искомый результат $P = 775$ *кг*.

Задача 2. Определить подачу за один оборот вала рамы при нижеследующих данных:

1) сопротивление резанию $P=600$ *кг*,
2) распиливается сосна: $K=12$,
3) толщина пилы $S=2{,}10$,
4) высота пропиловки $\Sigma h=750$,
5) длина хода рамы $H=450$.

Через деление 600 масштаба для сопротивлений резанию P (наружная ось у четвертого квадранта) проводим горизонталь до пересечения с лучом четвертого квадранта, отвечающим значению $\Sigma h = 750$; через точку пересечения проводим вертикаль до пересечения с лучом третьего квадранта, соответствующим $S = 2{,}10$; далее проводим горизонталь до пересечения с лучом второго квадранта, отвечающим значению $K = 12$; затем снова вертикаль до пересечения с лучом первого квадранта, соответствующим значению $H = 450$, и наконец из точки пересечения проводим горизонталь до пересечения с масштабом для подач за один оборот вала рамы Δ, на каковой и прочтем искомый результат $\Delta = 14$ *мм*.

Задача 3. Определить коэфициент K при нижеследующих данных:

1) сопротивление резанию $P=1060$ *кг*,
3) толщина пилы $S=2{,}7$ *мм*,
3) высота пропилов $\Sigma h=2000$ *мм*,
4) длина хода рамы $H=500$ *мм*,
5) подача за один оборот вала рамы $\Delta=9$.

Через деление $\Delta = 9$ масштаба подач (наружная ось у первого квадранта) проводим горизонталь до пересечения с лучом первого квадранта, отвечающим значению $H = 500$; через точку пересечения проводим вертикаль, пересекающую лучи второго квадранта. Затем через деление 1 060 масштаба сопротивлений резанию P (наружная ось у четвертого квадранта) проводим горизонталь до пересечения с лучом четвертого квадранта, отвечающим значению $\Sigma h = 2000$, и через точку пересечения проводим вертикаль до пересечения с лучом третьего квадранта, отвечающим значению $S = 2{,}7$ и далее снова горизонталь, пересекающую лучи второго квадранта.

Точка пересечения этой горизонтали с вертикалью, проведенной ранее во втором квадранте, и дает искомое число. Эта точка будет соответствовать значению $K = 10$.

§ 76. Примеры и задачи. 119. Определить механическую работу, необходимую для подъема молота весом в 45 *кг* на высоту 60 *см*.

Ответ. 27 *кг/м*.

120. Рабочий переносит по мосткам на высоту 6 *м* 28 кирпичей весом 3,5 *кг* каждый. Определить производимую при этом работу, если собственный вес тела рабочего равен 75 *кг*.

Решение. Общий вес кирпичей и рабочего:

$$P=28\cdot 3{,}5+75=173 \text{ кг}; \ S=6 \text{ м},$$

$$A=P\cdot S=173\cdot 6=1036 \text{ кгм}.$$

121. Как велика была бы механическая работа, если бы кирпичи поднимались при помощи каната?

Ответ. 588 *кгм*.

122. При помощи механической работы в 180 *кгм* экипаж по гладкой поверхности перемещается на 9 *м*; как велика движущая сила?

Решение. По заданию

$$P\cdot S=180 \text{ кгм},$$

следовательно

$$P=\frac{180}{S}=\frac{180}{9}=20 \text{ кг}.$$

123. Молотобоец работает молотом весом 5 *кг*, поднимая его на высоту 600 *мм* и производя в минуту 20 ударов. Определить работу в *кгм*, расходуемую им на поднятие молота в течение 8 час., считая, что он отдыхает 40% рабочего времени.

Ответ. 17 280 *кгм*.

124. Определить, во сколько раз дневная механическая работа лошади больше работы человека, если известно, что при 7-часовом рабочем дне

1) средняя скорость: V_1 — человека $= 0{,}8$ *м/сек*; V_2 — лошади $= 1{,}25$ *м/сек*;

2) средняя сила: P_1—человека$=10$ *кг*; P_2—лошади$=50$ *кг*.

Решение. $t=7$ час.$=7\cdot 60$ мин.$=7\cdot 60\cdot 60$ сек.$=25200$ сек.

Дневная (7-часовая механическая) работа человека будет:

$$A_1=P_1\cdot V_1\cdot t=10\cdot 0{,}8\cdot 25200=201600 \text{ кгм},$$

а дневная работа лошади

$$A_2=P_2\cdot V_2\cdot t=50\cdot 1{,}25\cdot 25200=1525000 \text{ кгм}.$$

Работа лошади больше работы человека в

$$\frac{A_2}{A_1}=\frac{1525000}{201600}=8 \text{ раз}.$$

125. При постройке железной дороги необходимо делать ежедневно выемку 600 $м^3$ земли. Вынутую землю приходится бросать на повозки, край которых в среднем 2 *м* выше, чем площадь, на которой стоят рабочие. Сколько рабочих надо для производства этой выемки (не считая тех, которые вывозят землю), если каждый рабочий совершает работу в 2 *кгм* в течение секунды; рабочий день длится 7 часов и удельный вес земли равен 1,5.

Решение. 1 $м^3$ земли весит $1000 \cdot 1{,}5 = 1500$ *кг*; дневная работа $= 1500 \cdot 600 \cdot 2$ *кг*; каждый рабочий совершает в день $2 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 7$ *кгм*.

$$\text{Число рабочих} = \frac{1500 \cdot 600 \cdot 2}{2 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 7} = 36.$$

126. Молот весом в 20 *кг* падает с высоты 2 *м* на сваю. Определить погружение сваи в почву, если известно, что сопротивление почвы равно 180 *кг*.

Решение. Работа молота при ударе равняется $20 \cdot 2 = 40$ *кгм*. Вся эта работа равняется работе сопротивления $A = 40$ *кгм*.

$$A = P \cdot S,$$

где P—сопротивление почвы $= 180$ *кг*, а S—есть путь, проходимый сваей в почве.

$$40 = 180 \cdot S;\ S = \frac{40}{180} = \frac{2}{9}\ м.$$

127. Человек весом 75 *кг* поднялся с грузом в 30 *кг* в течение 1,5 мин. на высоту 10 *м*. Определить развитую мощность.

Решение. 1) Работа, затраченная на поднятие груза в 105 *кг*, т. е. $75 + 60$ *кг* на высоту 10 *м*, составила;

$$A = P \cdot S = 105 \cdot 10 = 1\,050\ кгм.$$

2) Работа, совершенная в 1 сек., составила:

$$E = \frac{1050}{90}\ кгм,$$

а мощность

$$N = \frac{1050}{90 \cdot 75} = 0{,}16\ л.\ с.$$

128. Определить число человек, могущих заменить двигатель, развивающий 1 000 *л. с.* на валу при работе последнего в три смены.

Решение. Рабочий развивает усилие $P = 10$ *кг*, при скорости $V = 0{,}8$ *м/сек*, работая 8 час. Поэтому мощность человека

$$N = \frac{P \cdot V}{75} = \frac{10 \cdot 0{,}8}{75} = 0{,}1\ л.\ с.$$

Следовательно 1 000 *л. с.* разовьют $\frac{1000}{0{,}1} = 10000$ чел. При работе же в три смены (полные сутки) указанную машину могут заменить $3 \cdot 10000 = 30000$ чел.

129. Паровой молот весом в 500 *кг* производит в 1 мин. 50 ударов, высота подъема молота 75 *см*. Найти эфект парового молота, выраженный в *л. с.*

Решение. $N = \frac{P \cdot V}{75}$ *л. с.*;

скорость молота в *м/сек*:

$$V = \frac{50 \cdot 0{,}75}{60} = 0{,}625\ м/сек,$$

$$P=500\ кг;\ N=\frac{500\cdot 0{,}625}{75}=4{,}16\ л.\ с.$$

130. С помощью подъемника одновременно поднимаются 6 тележек, весом по 120 *кг* каждая; расстояние между этажами —5,5 *м*, подъемник проходит его в 20 сек. Сколько *л. с.* должно быть затрачено на движение, если не принимать в расчет потери энергии вследствие трения или недостатков конструкции.

Решение. 1) 6 тележек весят вместе

$$P=6\cdot 120=720\ кг.$$

2) Скорость подъема

$$V=\frac{S}{t}=\frac{5{,}5}{20}=0{,}275\ м/сек.$$

3) Мощность

$$N=\frac{P\cdot V}{75}=\frac{720\cdot 0{,}275}{75}=2{,}64\ л.\ с.$$

131. Определить к. п. д. подъемного крана, требующего для подъема груза в 3 *т* на высоту 8 *м* в течение 20 сек. расхода энергии в 20 *л. с.*

Решение. Работа, совершаемая краном в 1 сек., составляет

$$\frac{3000\cdot 8}{20}=1200\ кгм/сек,$$

что соответствует мощности

$$N=\frac{1200}{75}=16\ л.\ с.$$

Фактически кран расходует $N_1=20$ *л. с.*, откуда получаем к. п. д.

$$\eta=\frac{N}{N_1}=\frac{16}{20}=0{,}8—80\%.$$

132. Подъемный кран поднял груз весом в 5000 *кг* на высоту 4,5 *м* в течение 0,75 мин. Какую полезную работу он совершил и какую мощность проявил двигатель для приведения крана в движение, если к. п. д. последнего $\eta=0{,}78$.

Решение. 1) Скорость подъема груза

$$V=\frac{S}{t}=\frac{4{,}5}{0{,}75\cdot 60}=0{,}1\ м/сек.$$

2) Полезная работа крана

$$N=\frac{P\cdot V}{75}=\frac{5000\cdot 0{,}1}{75}=6{,}6\ л.\ с.$$

3) Мощность двигателя равна общей мощности

$$N_1=\frac{N}{0{,}78}=\frac{6{,}6}{0{,}78}=8{,}4\ л.\ с.$$

133. Какой мощности двигатель потребуется, если указанную в

Ответ. 15,12 *л. с.*

134. Насос подал в течение 3 мин. 5 000 ведер воды на высоту 8 *м*. Определить мощность, затраченную на эту работу.

Решение. 1. Зная, что 1 ведро содержит в себе примерно 12 *л*, получаем количество поданной воды равным $12 \cdot 5000 = 60000$ *л*, что соответствует весу 60 000 *кг*. Следовательно израсходованная работа составит:

$$A = P \cdot S = 60000 \text{ кг} \cdot 8 \text{ м} = 480000 \text{ кгм}.$$

2. Мощность в *л. с.* будет равна:

$$N = \frac{A}{75 \cdot t} = \frac{480000}{75 \cdot 3 \cdot 60} = 35 \text{ л. с.},$$

135. Насос подал в течение 4 мин. указанное количество воды на высоту 6 *м*. Определить мощность, затраченную на эту работу.

Ответ. 12 *л. с.*

136. Передаваемая мощность $N = 302$ *л. с.*, диаметр шкива $D = 1200$ *мм* и число оборотов $n = 240$ об/мин. Определить окружное усилие.

Решение. По формуле имеем:

$$P = 716{,}2 \frac{N}{n \cdot R}; \quad R = \frac{D}{2} = \frac{1200}{2 \cdot 1000} = 0{,}6 \text{ м};$$

$$P = \frac{716{,}2 \cdot 302}{240 \cdot 0{,}6} = 1520 \text{ кг}.$$

137. Электромотор мощностью в 70 *л. с.* дает 120 об/мин. Определить силу, передаваемую ремнем, если диаметр шкива составляет 400 *мм*.

Решение. $P = 716{,}2 \dfrac{N}{n \cdot R}$; $R = \dfrac{716{,}2 \cdot 70}{120 \cdot 0{,}2} = 350$ *кг*.

138. Определить скорость резания круглой пилы, если известно, что передаваемая мощность $N = 4$ *л. с.*, окружное усилие $P = 18$ *кг*, число оборотов пильного вала в минуту $n = 1600$ и диаметр пилы в 3,5 раза больше диаметра пильного шкива.

Решение. $P = 716{,}2 \dfrac{N}{n \cdot R}$;

$$R = \frac{716{,}2 \cdot 4}{1600 \cdot R}; \quad R = \frac{716{,}2 \cdot 4}{18 \cdot 1600} = 0{,}1 \text{ м}.$$

D — диаметр пильного шкива равен

$$2 \cdot 0{,}1 = 0{,}2 \text{ м} = 200 \text{ мм},$$

$D_п$ — диаметр пилы равен

$$3{,}5D = 3{,}5 \cdot 200 = 700 \text{ мм},$$

Скорость резания

$$V = \frac{\pi \cdot D_п \cdot n}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}7 \cdot 1500}{60} = 58{,}6 \text{ м/сек}.$$

139. Определить мощность парового двигателя N_i по следующим данным: среднее давление пара $p=5$ *ат* (5 *кг* на каждый *см*² площади поршня), площадь поршня $F=\frac{\pi \cdot d^2}{4}=100$ *см*², число оборотов вала в минуту $n=60$, длина хода поршня $S=1,2$ *м*.

Решение. 1) Полная сила давления на всю площадь поршня будет

$$P=F \cdot p=100 \cdot 5=500 \text{ кг}.$$

2) Работа за 1 ход $=P \cdot S=500 \cdot 1,2=600$ *кгм*.

3) Работа за время 1 мин., т. е. за n оборотов или за $2n$ ходов поршня $=600$ *кгм* $\cdot 2n=600 \cdot 2 \cdot 60$ *кгм*.

4) Работа за 1 сек., т. е. мощность, будет

$$N_i=\frac{600 \cdot 2 \cdot 60}{60}=1200 \text{ кгм/сек}.$$

5) Мощность же в *л. с.*

$$N_i=\frac{1200}{75}=16 \text{ л. с.}$$

140. Паровая машина работает без расширения при рабочем давлении пара $=3,5$ *ат*, диаметр поршня $d=25$ *см*, длина хода поршня $S=52$ *см*. Как велик к. п. д. машины η, если при 45 оборотах главного вала в минуту мощность на валу (полезная мощность) N_e равняется 11,5 *л. с.*

Решение. 1) Подставляя в формулу

$$N_i=\frac{\pi \cdot d^2 \cdot p \cdot s \cdot n}{9000}$$

данные величины, получим

$$\frac{3,14 \cdot 25 \cdot 25 \cdot 3,5 \cdot 0,52 \cdot 45}{9000}=18 \text{ л. с.}$$

2) К. п. д.

$$\eta=\frac{N_e}{N_i}=\frac{11,5}{18}=0,64.$$

141. Диаметр поршня паровой машины $d=30$ *см*, длина хода поршня $S=60$ *см* и к. п. д.

$$\eta=\frac{7}{11}.$$

Принимая, что машина при рабочем давлении $p=4$ *ат* дает $N_e=24$ *л. с.*, определить число оборотов его главного вала.

Ответ. $h=50$.

142. Определить рабочее давление p для предыдущей машины, если она при 60 оборотах главного вала в минуту должна давать $N_e=18$ *л. с.*

Ответ. $P=2,5$ *ат*.

143. Круглопильный станок с несколькими пилами диаметром $D=350$ *мм* и толщиной 2,4 *мм* делает 2 800 об/мин.

Сколько пил может быть поставлено при распиловке сосновых досок толщиной 25 *мм* ($k = 12$) и скорости подачи $U = 19$ *м/мин*, если мы располагаем мощностью на пиление в 15 *л. с.*

Решение. 1) Скорость резания

$$V=\frac{\pi\cdot D\cdot n}{60}=\frac{3,14\cdot 0,35\cdot 2800}{60}=51 \text{ м/сек.}$$

$$2)\ N=\frac{P\cdot V}{75};\quad 15=\frac{P\cdot 51}{75};\quad P=\frac{75\cdot 15}{51}=22 \text{ кг.}$$

$$3)\ P=\frac{R\cdot S\cdot U\cdot h}{V};\quad 22=\frac{12\cdot 2,4\cdot 317\cdot h}{51000};$$

$$h=\frac{22\cdot 51000}{12\cdot 2,4\cdot 317}=\frac{1122000}{91296}=123;$$

$$U=19 \text{ м/мин}=\frac{19000}{60}=317 \text{ мм/сек.}$$

Общая высота пропилов $h = 123$ *мм*, поэтому за округлением можно сделать 5 шт. пропилов по 25 *мм* и следовательно установить 5 пил.

144. Ребровый станок, имеющий пильный диск диаметром $D = 750$ *мм* и толщиной $S = 2,2$ *мм*, делает 1 200 об/мин.

Какую наибольшую высоту пропила h возможно преодолеть, если известно, что мощность, потребляемая на работу пиления, равна 20,7 *л. с.* при распиловке сосны (коэфициент $k = 12$) и скорости подачи $U = 15,5$ *м/мин*.

Ответ. 250 *мм*.

145. Круглопильный станок с одной пилой для продольной распиловки потребляет на полезную работу пиления 10 *л. с.* Диаметр пильного диска $D=600$ *мм*. Число оборотов пильного вала в минуту $n=1800$, распиливаются доски сосновые с высотой пропила $h=75$ *мм*, толщина пильного диска $S=2,4$.

Определить подачу на один зуб, если известно, что пила имеет 32 зубца.

Решение. 1) Определение сопротивления резанию

$$N=\frac{P\cdot V}{75};\quad V=\frac{\pi\cdot D\cdot n}{60}=\frac{3,14\cdot 0,6\cdot 1800}{60}=56,5 \text{ м/сек.}$$

N—задано и равняется 10 *л. с.*

Подставляя данные в формулу, получим:

$$10=\frac{P\cdot 56,5}{75};\quad P=\frac{10\cdot 75}{56,5}=13,2 \text{ кг.}$$

2) Сопротивление резанию P по формуле Фишера-Денфера при распиловке сосны ($k=12$) имеем:

$$P=12\cdot s\cdot h\cdot\frac{U}{V};$$

подставляя данные в формулу, получим

$$13,2=\frac{12\cdot 2,4\cdot 75U}{5650},$$

откуда скорость подачи

$$U=\frac{56500\cdot 13,2}{12\cdot 2,4\cdot 75}=\frac{745000}{2160}=343 \text{ мм/сек},$$

или

$$U=345\cdot 60:1000=20,7 \text{ м/мин}.$$

3. Подача на 1 зуб пилы по формуле равняется

$$\delta=\frac{U}{z\cdot h}=\frac{20700}{36\cdot 1800}=\frac{20700}{64800}=0,320 \text{ мм}.$$

146. Определить, какая максимальная скорость подачи может быть достигнута при ручной подаче на круглопильном станке при скорости резания $V=60$ *м/сек*, толщине пильного диска $=2,4$ *мм* и распиловке сосновых брусков с высотой пропила $h = 75$ *мм*.

Решение. При ручной подаче мы располагаем силой для подачи дерева $P_1=10$ *кг*.

Известно, если пренебречь сопротивлением трения, то сопротивление резанию

$$P=\frac{P_1}{1,25}=\frac{10}{1,25}=8 \text{ кг}.$$

По формуле имеем:

$$P=k\cdot s\cdot h\,\frac{U}{V}.$$

Подставляя данные величины, имеем:

$$P=\frac{12\cdot 2,4\cdot 75\cdot U}{60000};\; U=\frac{8\cdot 60000}{12\cdot 2,4\cdot 75}=220 \text{мм/сек}.$$

или

$$U=\frac{220\cdot 60}{1000}=13 \text{ м/мин},—$$

скорость, которая достижима при усиленной работе.

147. Определить максимальную высоту пропила при скорости резания $V = 40$ *м/сек* и всех прочих равных условиях предыдущей задачи.

Ответ. $h = 50$ *мм*.

148. Определить подачу на зуб при ручной подаче на круглой пиле, имеющей 50 шт. зубьев, если известно, что мощность, потребляемая на работу пиления, 5 в *л. с.*; распиливаются сосновые доски толщиной 60 *мм* при скорости резания 50 *м/сек* и числе оборотов пильного вала в минуту 1 800.

Ответ. $\delta \cong 0,14$ *мм*.

При решении задачи пользоваться указаниями задачи 144.

149. Определить к. п. д. лесопильной рамы, работающей с подачей за 1 оборот вала рамы $\Delta = 10$ *мм*, при 300 об/мин и длине хода рамы $H = 500$ *мм* с пилами толщиной $S = 2,1$ *мм*.

Распиливались еловые бревна с суммарной высотой пропилов $h = 1400$ *мм*.

Известно, что общий расход энергии на преодоление вредных сопротивлений (трение) в лесораме равен 14 *л. с.*

Решение.

1) $$V=\frac{2\cdot H\cdot n}{60}=\frac{2\cdot 0,5\cdot 300}{6}=5\ м/сек.$$

2) $$P=k\ \Sigma h\frac{\Delta}{H}=10\cdot 2,1\cdot 1400\cdot\frac{10}{500}=590\ кг.$$

k—для ели берем равным 10.

3) $$N=\frac{P\cdot V}{75\cdot 2}=\frac{500\cdot 5}{75\cdot 2}=19,8\ л.\ с.$$

4) Суммарная (полная) потребляемая мощность

$$N_1=N+N_p$$

$(N=19,8$ *л. с.*, $N_p=14$ *л. с.*); $N_1=19,8+14=33,8$ *л. с.*

5) К. п. д.

$$\eta=\frac{N}{N_1}=\frac{19,8}{33,8}=0,58$$

150. Определить длину распиливаемых бревен L, если известно, что время прохода бревна через раму $t = 3$ мин.

Распиловка производилась на раме, дающей 290 об/мин, с длиной хода=500 *мм*, суммарная высота пропилов $\Sigma h = 2000$ *мм*, толщина пил $S = 2,1$ *мм*, общая потребляемая мощность $N_1 = 32$ *л. с.* и к. п. д. рамы $\eta = 0,7$.

Решение.

1) $$V=\frac{2\cdot H\cdot n}{60}=\frac{2\cdot 0,5\cdot 290}{60}=4,83\ м/сек.$$

2) Полезная мощность

$$N=N_1\cdot\eta;\ N=32\cdot 0,7=22,4\ л.\ с.$$

3) Из формулы

$$N=\frac{P\cdot V}{2\cdot 75}$$

получаем сопротивление резанию

$$P=\frac{2\cdot 75\cdot N}{V}=\frac{2\cdot 75\cdot 22,4}{4,83}=700\ кг.$$

4) $$P=k\cdot s\cdot\Sigma h\frac{\Delta}{H}$$

подставляя данные величины, получим

$$700=\frac{11\cdot 2,10\cdot 2000\cdot\Delta}{500};\ \Delta=\frac{700\cdot 500}{2000\cdot 11\cdot 2,10}=7,5\ мм.$$

(k для сосны=11).

5) Скорость подачи

$$U = \Delta \cdot n = 7 \cdot 5 \cdot 290 = 2175 \text{ мм} = 2{,}175 \text{ м}$$

6) $$U = \frac{L}{t}; \quad L = U \cdot t = 2{,}175 \cdot 3 = 6{,}5 \text{ м}.$$

151. Определить мощность на преодоление вредных сопротивлений в лесопильной раме, распиливающей сосновые бревна с посылкой 12 *мм* за 1 оборот вала рамы, пилами толщиной 2,34 *мм* при суммарной высоте пропилов $\Sigma h = 1540$ *мм*, если известно, что к. п. д. рамы равен 0,7, число оборотов вала рамы $n = 235$, длина хода рамы $H = 500$ *м*.

Ответ. 12 *л. с.*

О ТРЕНИИ

§ 77. Предварительные замечания. Трение есть сопротивление, возникающее при движении одного тела по другому.

Трение является результатом шероховатости поверхности всякого тела. Даже в предметах, тщательно отполированных и совершенно выравненных, неровности не исчезают.

При сильном увеличении любая отполированная поверхность, совершенно гладкая при рассмотрении невооруженным глазом (без увеличительных приборов—микроскопа и пр.), оказывается неправильной, изрытой выемками и испещренной выступами.

При наложении одной поверхности на другую выступы одной поверхности погружаются в выемки другой. При движении поверхности горизонтально приходится затрачивать усилие на преодоление сопротивлений, которые оказывают выступы, или на поднятие поверхности, чтобы обойти эти выступы.

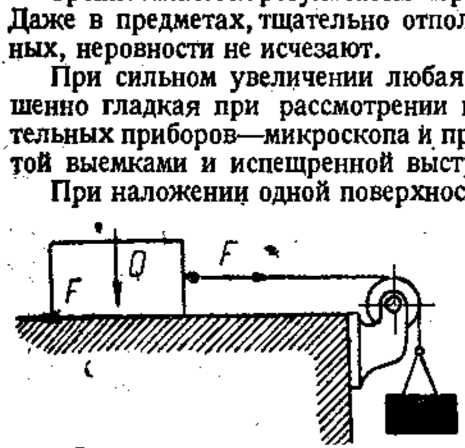


Рис. 81. Трение скольжения.

Затраченное усилие вызывает расход известного количества работы на преодоление трения.

Трение бывает двух родов:

1) трение первого рода, или трение скольжения,
2) трение второго рода, или трение катания.

§ 78. Трение скольжения. Из предыдущего ясно, что сила трения действует по плоскости касания тел и, являясь тормозом этого движения, направлена противоположно движению.

Основные законы трения могут быть выведены при помощи следующего опыта.

По горизонтальной плоскости должен быть передвинут груз Q (рис. 81).

Нужно определить силу, которая должна быть приложена к грузу для его перемещения.

К грузу Q прикрепим веревку, перекинутую через блок, и к этой веревке привесим какой-то груз F_1.

Как видно, на горизонтальную плоскость действуют следующие силы: силы трения между грузом и плоскостью F, вес груза Q (силу эту называют нормальным давлением) и вес груза F_1.

Этой последней силе F_1 тело сопротивляется, и это сопротивление находится в плоскости соприкосновения и направлено в сторону, обратную силе F_1.

Если сила F_1 будет способна равномерно двигать груз Q, то ясно, что она равна по величине той силе, которую преодолевает, т. е. силе трения.

Определяя силу F_1, при которой происходит движение груза Q, придем к заключению, что сила трения всегда меньше нормального давления Q и составляет определенную долю этого давления.

Процесс трения обусловлен многими обстоятельствами, и некоторые из них до сих пор не нашли полного научного обоснования.

Для практических же расчетов нужно знать нижеследующие законы трения первого рода, дающие результаты с достаточной степенью точности, выведенные на основании длительных опытов.

1. Чем больше нормальное давление, тем больше сила трения.

Этот закон легко проверяется с помощью вышеуказанного опыта, который показывает, что если, положим, нормальное давление—вес груза $Q = 100$ *кг*, то, для того чтобы заставить его двигаться, нужно к веревке привесить груз $F = 20$ *кг*.

При весе груза $Q=500$ *кг*, $F=100$ *кг*.

» » » $Q=800$ » $F=160$ » и т. д.

Таким образом отношение силы трения к нормальному давлению есть величина постоянная для данных поверхностей:

$$\frac{F}{Q}=\frac{20}{100}=\frac{100}{500}=\frac{160}{800}=\frac{1}{5}.$$

Закон этот верен только при q—давлениях на единицу площади, не превышающих определенного предела (для металлов q—10 *кг* на 1 *см*²).

При превышении указанных пределов постоянства между силой трения и давлением не наблюдается и при чрезмерном увеличении давления может произойти разрушение материала одной из поверхностей соприкосновения.

2. Трение не зависит от площади трущихся поверхностей.

Закон этот верен для давления, не превышающего определенного предела.

3. Трение зависит от природы и обработки трущихся поверхностей.

Один материал лучше поддается обработке, другой—хуже (один тверже, другой мягче).

От этого зависит величина трения, и ясно, что трение различных материалов разное.

4. Трение в покое больше, чем трение в движении.

5. Трение не зависит от скорости движения.

Этот закон верен при незначительных скоростях; при быстром движении наблюдаются отклонения от этого закона, а именно: при увеличении скорости уменьшается трение.

Но для упрощения технических расчетов влияние скорости на силу трения не учитывается, и сила трения считается независящей от скорости.

Выше нами указывалось, что отношение силы трения F к нормальному давлению Q есть величина постоянная. Если это отношение обозначим буквой f, то получим

$$f=\frac{F}{Q}. \qquad (76)$$

Это отношение f называется коэфициентом трения и является отвлеченной величиной, всегда меньшей единицы.

Из последнего равенства находим силу трения первого рода в движении

$$F=f\cdot Q. \qquad (76a)$$

Аналогичное выражение будем иметь и для силы трения в покое (при трогании с места):

$$F_0=f_0\cdot Q, \qquad (76б)$$

где f_0 —коэфициент трения в покое (табл. 9).

Таблица 9

Таблица значений коэфициентов трения скольжения

Материалы трущихся поверхностей	Состояние трущихся поверхностей	Коэфициент трения	
		в начале движения	во время движения
Металл по металлу	Без смазки	0,18	0,18
„ „ „	Со смазкой	0,12	0,08
Дерево по дереву	Без смазки	0,50	0,34—0,45
„ „ „	При смазке салом	0,19	0,14
„ „ металлу	Без смазки	0,60	0,42
„ „ „	Со смазкой	0,12	0,08
Ремень на металлическом шкиве	—	0,28	—
Ремень на деревянном шкиве	—	0,47	—
Железо по льду	—	0,027	0,014
Камень по железу	—	—	0,42—0,49

Трение шеек валов (цапф) значительно сложнее трения между плоскими поверхностями и до сих пор недостаточно изучено. Во всяком случае трение цапф в подшипниках меньше трения плоских поверхностей.

Таблица 10

Значение коэфициентов трения цапф

Материал		Коэфициент трения	
Подшипники	Цапфы	При прерывной смазке	При непрерывной смазке
Бронза	Чугун	0,09	0,054
„	Железо	0,075	0,054
„	Бронза	0,10	—
Чугун	Чугун	0,075	0,054
„	Железо или сталь	0,07—0,08	—

Это объясняется тем, что поверхности цапф и вкладышей лучше пригоняются и обрабатываются, а также и тем, что в этом случае лучше осуществляется смазка (табл. 10).

Сила трения в подшипниках рассчитывается по формуле:

$$F = \mu \cdot Q, \tag{77}$$

где Q—общее давление на подшипники в *кг*, μ—коэфициент трения цапфы в подшипнике (для подшипников скользящего трения с заливкой баббитом равняется 0,02—0,05).

§ 79. Применение смазочных материалов. В тех случаях, когда трение явно невыгодно, введением той или иной смазки значительно уменьшают величину трения.

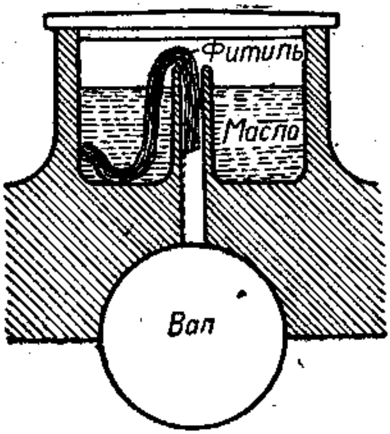


Рис. 82. Трение скольжения.

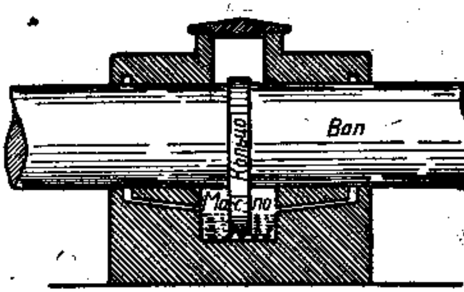


Рис. 83. Кольцевая доска

При конструировании станков и машин, в целях уменьшения вредных сопротивлений трения, на преодоление которых затрачивается значительная сила, главное внимание обращают на рационализацию смазки трущихся частей.

В качестве смазочных материалов употребляют в настоящее время минеральные масла, получаемые путем переработки нефти.

Из приведенных выше таблиц можно усмотреть, что смазка значительно уменьшает коэфициенты трения; так, например коэфициент трения во время движения при трении дерева по металлу без смазки равен 0,42, при трении со смазкой—0,08.

Там, где требуется небольшое количество масла, применяются масленки с фитилем. Один конец фитиля опущен в масло, а другой свешивается в отверстие, ведущее к подшипнику. Масло втягивается вверх по фитилю и капает с его нижнего конца (рис. 82).

В станках лесопильно-деревообделочного производства находят большое применение подшипники с кольцевой смазкой.

Подшипник непрерывно смазывается при помощи кольца (рис. 83), опущенного в масло и приводимого во вращение валом. Излишек масла возвращается по каналам обратно в резервуар.

§ 80. Трение катания (второго рода). Трение второго рода появляется, когда цилиндрическое тело, прижатое к поверхности, катится по ней без скольжения.

Основные законы трения второго рода формулируются следующим образом:

1. Трение катания пропорционально нормальному давлению.

2. Трение второго рода меньше трения первого рода.

3. Трение второго рода обратно пропорционально радиусу катящегося цилиндра и зависит от свойств и рода трущихся поверхностей.

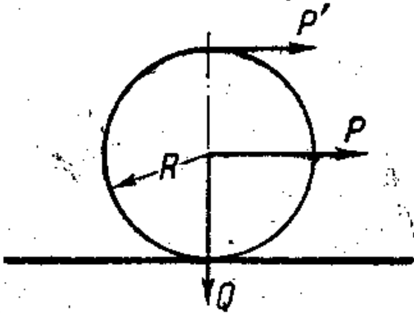


Рис. 84. Трение второго рода.

Положим, имеем цилиндрический каток радиуса R (рис. 84). Для приведения катка в равномерное движение нужно приложить силу $-P$.

Вес катка, составляющий нормальное давление, назовем Q.

Рассмотрим два случая, чаще всего встречающиеся при практических расчетах.

При первом случае сила P, идущая на преодоление силы трения второго рода, приложена к центру катка, и тогда согласно приведенным законам трения связь между величинами P и Q может быть выражена математически следующим образом:

$$P = \kappa \frac{Q}{R}. \tag{78}$$

В этой формуле коэфициент трения второго рода, согласно требованиям однородности обеих частей уравнений, k — не есть отвлеченное число, как коэфициент трения первого рода, а имеет измерение длины и зависит от выбора линейной единицы, в которой выражен радиус.

Поэтому нельзя сравнивать между собой величины коэфициентов трения первого и второго рода.

Во втором случае, когда сила P приложена к высшей точке катка и имеет горизонтальное направление, уравнение примет вид:

$$P^1 = \kappa \frac{Q}{2R}. \tag{78a}$$

Ниже приводим коэфициенты трения второго рода:
железа по железу (стали по стали) $= 0{,}005$ *см*;
дерева по дереву $= 0{,}047$ *см* — $0{,}081$ *см*;
чугуна по дереву $= 0{,}046$ *см*;
дерева по гладкой мостовой $= 0{,}740$ *см*.

§ 81. Трение двоякого рода. Примером одновременного трения двоякого рода может служить трение в вагонетках, где мы имеем трение скольжения в цапфах и трение качания колеса вагонетки.

Если нагрузку вагонетки с собственным весом обозначим через Q, радиус колеса и его цапфы соответственно через R и r и коэфициенты трения цапф и второго рода через μ и k, то движущая сила P (рис. 85), направленная горизонтально и приложенная в центре шейки, будет иметь вращающий момент $P\cdot R$.

Моменты же сопротивления будут;

1) трения качания колеса о рельс—$Q\cdot k$,

2) трения скольжения в цапфе—$P_1\cdot r=Q\cdot\mu\cdot r$.

Приравнивая момент движущей силы моменту сил сопротивления, получим

$$P\cdot R=Q\cdot k+Q\cdot\mu\cdot r$$

или

$$P=\frac{Q}{R}(k+\mu r). \tag{79}$$

§ 82. Шариковые и роликовые подшипники. Для уменьшения трения, кроме усовершенствования системы смазки, стараются, где только возможно, заменить трение первого рода (скольжения) трением второго рода катания).

Подшипники скользящего трения начинают усиленно заменяться шариковыми и роликовыми подшипниками (рис. 86 и 87).

Шарики и ролики из очень твердой стали обхватывают кругом шейку вала и при вращении вала вращаются в кольцах или закаленных частях, с которыми они соприкасаются.

На рисунке буквой R обозначены части, вращающиеся вместе с валом, буквой F—неподвижные части.

Для иллюстрации выгодности шарикоподшипников сопоставим коэфициент трения шариковых подшипников и подшипников скользящего трения.

Коэфициент трения последних составляет в среднем при непрерывной смазке по табличным данным—0,054, коэфициент же трения шариковых подшипников колеблется от 0,001 до 0,003.

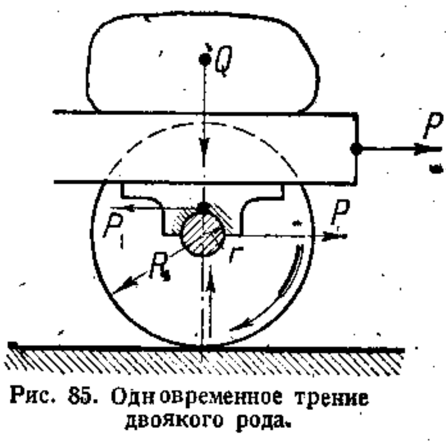


Рис. 85. Одновременное трение двоякого рода.

Таким образом коэфициент трения шариковых подшипников в 18—54 раза меньше коэфициента трения подшипников скользящего трения; следовательно шарикоподшипники дают экономию в потреблении мощности от 18 до 54 раз по сравнению с обыкновенными подшипниками.

§ 83. Примеры и задачи. 152 Определить усилие, которое должно быть приложено к сырой сосновой доске размером $7\times0{,}15\times0{,}075$ *м* для того, чтобы ее сдвинуть по деревянному столу и двигать далее.

Решение. 1) Усилие будет равно сопротивлению трения.

2) Сопротивление трения в начале движения F_0—будет равно

$$F_0=f_0\cdot Q,$$

где Q—вес доски. Q равняется объему доски 0,079 $м^3$, умноженному на удельный вес сырой доски 0,7, или

$$Q=0{,}079\cdot0{,}7=55\ кг$$

где Q—общее нормальное давление, состоящее из Q_1—веса бревен, нагруженных на цепь, Q_2—веса нагруженной части цепи с ползунами. $Q_2=p\cdot l$, где p—вес одного *пог. м* цепи и l—длина ветви цепи.

Подставляя в формулу (76а) полученные величины, имеем

$$F=(Q_1+Q_2)\cdot f=(Q_1+p\cdot l)\cdot f;$$

f—коэфициент трения скольжения ползуна по направляющим (металл по металлу)=0,18

$$F=(Q_1+p\cdot l)\cdot 0,18.$$

2) Для бревнотаски с роликами (колесами).

Трение в роликах бревнотаски является примером одновременного трения двоякого рода, и поэтому величина трения по формуле (79) будет равняться

$$P_1=\frac{Q}{R}(\mu\cdot r+k)=\frac{(Q_1+p\cdot l)}{R}(\mu\cdot r+k),$$

где R—радиус колеса=10 *см*, радиус цапфы колеса $r=2$ *см*; коэфициент трения катанию колеса о направляющие (железо по железу, $K=0,05$) μ—коэфициент трения железных цапф по чугуну в случае отсутствия смазки принимаем равным 0,2:

$$P_1=(Q_1+pl)\left(\frac{0,2\cdot 2+0,05}{10}\right)=(Q_1+pl)\frac{0,45}{10}=(Q_1+pl)\cdot 0,045.$$

Берем отношение F и P_1:

$$\frac{F}{P_1}=\frac{0,18\cdot(Q_1+pl)}{0,045\cdot(Q_1+pl)}=\frac{0,18}{0,045}=4.$$

Вес цепей у обеих бревнотасок принимаем ориентировочно одинаковым.

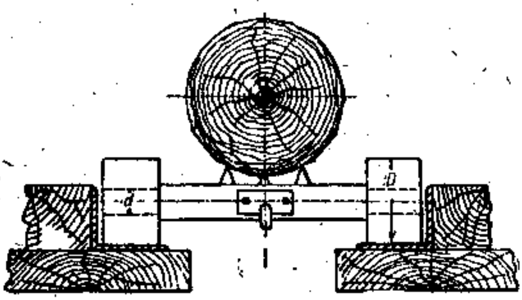


Рис. 89.

160. Определить мощность, потребную для преодоления сопротивления трению в подшипниках скользящего трения вала круглопильного станка при следующих данных:

Q—давление на подшипники=80 *кг*,

μ—коэфициент трения цапфы в подшипнике =0,04,

D—диаметр шейки вала=0,04,

n—число оборотов пильного вала=2000 об/мин и вывести общую формулу для расчета.

Решение. 1) Сила трения:

$$F=\mu\cdot Q.$$

2) Скорость по окружности шейки вала:

$$V=\frac{\pi\cdot D\cdot n}{60}.$$

3) Мощность

$$N=\frac{P\cdot V}{75}=\frac{\mu\cdot Q\cdot\pi\cdot D\cdot n}{60\cdot 75}\ л.\ с.$$

или

$$N=0{,}0007\cdot\mu\cdot Q\cdot D\cdot n.$$

Подставляя в формулу наши данные, получим

$$N=0{,}0007\cdot 0{,}04\cdot 80\cdot 0{,}04\cdot 2\,000=0{,}18\ л.\ с.$$

161. Определить мощность, потребную для преодоления сопротивления трению в шариковых подшипниках вала круглопильного станка при следующих данных:

Q—давление на подшипники=120 *кг*,
μ—коэфициент трения=0,004,
D—диаметр шейки вала=0,055,
n—число оборотов вала=2000.

162. Определить общее давление на подшипники, если известно, что вал диаметром 200 *мм* делает 150 об/мин и мощность, потребная на преодоление сил трения, равняется 5 *л. с.* при коэфициенте трения равном 0,04.

Решение. По формуле

$$N=0{,}0007\cdot\mu\cdot Q\cdot D\cdot n,$$

откуда

$$Q=\frac{N}{0{,}0007\cdot\mu\cdot D\cdot n}=\frac{5}{0{,}0007\cdot 0{,}04\cdot 0{,}2\cdot 150}=5\,900\ кг.$$

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ

§ 84. Закон инерции. Есть несколько законов механики, которые принимаются без доказательств, как аксиомы. Справедливость этих законов доказывается тем, что ни один из сделанных из них выводов не противоречит результатам исследований и наблюдений, и эти законы являются результатом громадного человеческого опыта.

Закон инерции гласит следующее:

Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерно-прямолинейного движения, пока не принуждается под действием каких-либо сил изменить это состояние.

Можно привести бесконечное число примеров действия этого закона.

Так например, чтобы привести в движение груженую вагонетку, рабочим нужно приложить весьма значительную силу. Это сила гораздо больше той, какую приходится затем прилагать для преодоления сил трения, чтобы, приведя уже вагонетку в движение, поддержать это движение с постоянной скоростью.

Если же вагонетка катится, то точно так же приходится приложить весьма значительную силу, чтобы ее остановить. Наконец легко заметить появление добавочной силы на поворотах пути, когда изменяется направление движения.

Если бы могли устранить действие трения и другие задерживающие причины, то тело, уже раз находящееся в движении, стремилось бы двигаться прямолинейно-равномерно вечно.

Итак из приведенного нами примера видим, что на основании закона инерции при изменении величины и направлений скорости появляются дополнительные сопротивления, которые по своей величине больше, чем силы трения, действующие в приведенном выше случае с вагонеткой.

И чем быстрее мы будем стремиться привести в движение покоящееся тело, и чем быстрее мы будем стремиться остановить находящееся в движении тело, тем большую силу придется нам прилагать.

Неспособность тела без действия внешних сил начать движение и неспособность движущегося тела без действия внешних сил изменить направление и скорость своего движения называется ИНЕРЦИЕЙ.

Сила сопротивления, которую покоящееся тело оказывает, когда мы приводим его в движение, или движущееся тело, когда мы его останавливаем, называется силой инерции.

§ 85. Закон ускорения. Из предыдущего закона инерции мы знаем, что для изменения скорости движения тела нужно действие силы. А изменение определенной величины скорости за определенный промежуток времени характеризуется величиной ускорения; поэтому ясно, что действие силы на тело всегда проявляется в ускорении, сообщаемом телу силой.

Сущность второго закона механики, установленного Ньютоном, заключается в том, что ускорения, приобретаемые телом под влиянием последовательно действующих на него сил, пропорциональны самим этим силам.

Это значит, что если на какое-нибудь тело в разное время действуют силы P_1 и P_2, которые сообщают телу ускорение j_1 и j_2, то эти ускорения пропорциональны силам

$$P_1 : P_2 = j_1 : j_2.$$

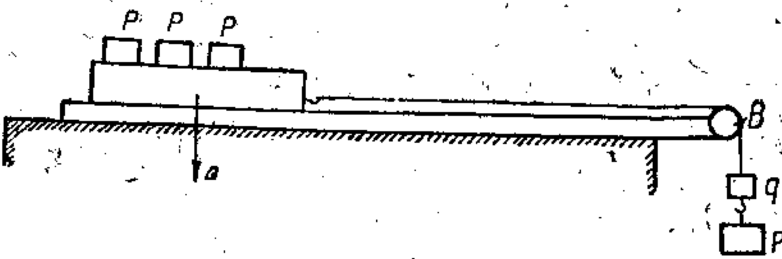


Рис. 90. Опыт, подтверждающий закон ускорения.

Прочитаем эту формулу словами: во сколько раз сила P_1 больше или меньше силы P_2, во столько же раз ускорения j_1 больше или меньше ускорения j_2.

Правильность этого закона может быть подтверждена следующим простым опытом (рис. 90).

Положим на горизонтальную плоскость обстроганной доски металлическую плитку весом Q *г* и поставим на ней три гирьки по p *г* каждая. К плитке прикрепим веревку, идущую в горизонтальном направлении и огибающую блок.

К нижнему концу веревки подвешиваем груз q с таким расчетом, чтобы при легком толчке началось равномерное движение плитки.

В этом случае мы можем рассматривать движение плитки как движение свободного тела по инерции, так как груз q своим весом уравновешивает во время движения силу трения между доской и плиткой.

Затем снимаем с плитки одну из трех гирек p и привесим ее к грузу q; под влиянием силы веса p плитка начнет равноускоренно двигаться и пройдет путь—S.

Определив секундомером время t_1 прохода этой длины пути S, мы по формулам равноускоренного движения найдем ускорение

$$j_1 = \frac{2S}{t_1^2}.$$

Снимем с плитки вторую гирьку и подвесим ее снизу; поэтому действующей силой будет вес двух гирек.

Определив время прохождения t_2 плиткой того же пути S, получим ускорение

$$j_2 = \frac{2S}{t_2^2}.$$

Подвесив третью гирьку и произведя аналогичный опыт, получим

$$j_3=\frac{2S}{t^2_3}.$$

Если мы подставим в формулу числовые величины действующих по очереди сил и вызванных ускорений:

$$\begin{array}{lll} P_1= p & \text{укорение} & j_1, \\ P_2=2p & » & j_2, \\ P_3=3p & » & j_3 \end{array}$$

и возьмем отношение сил и отношение ускорений, то получим то, что подтверждает правильность этого закона

$$P_1:P_2:P_3=j_1:j_2:j_3. \tag{80}$$

§ 86. Понятие о массе. Если мы величины, полученные в предыдущем опыте, составим в следующем виде: возьмем отношение каждой силы к сообщаемому ускорению, то окажется, что эти отношения будут равны между собой:

$$\frac{P_1}{j_1}=\frac{P_2}{j_2}=\frac{P_3}{j_3}.$$

Таким образом *отношение величины силы, действующей на данное тело, к вызываемому этой силой ускорению есть величина постоянная, и это отношение силы к ускорению называется массой.*

Обозначая массу тела через M, получим

$$M=\frac{P}{j}. \tag{81}$$

Последнее отношение вполне характеризует постоянство вещества в данном теле, независимо от химического состава тела, и о величине массы тела мы судим по отношению силы, действующей на массу к вызываемому этой силой ускорению. Из формулы мы можем получить величину силы

$$P=m\cdot j, \tag{81a}$$

т. е. *сила, действующая на свободное тело при его поступательном движении, численно равна произведению массы тела на ускорение, получаемое в данный момент от действия силы.*

В частном случае, когда сила P есть вес тела, а g—ускорение силы тяжести, масса

$$m=\frac{P}{g} \tag{82}$$

и

$$P=m\cdot g, \tag{82a}$$

т. е. *вес тела численно равен произведению массы тела на ускорение силы тяжести.*

За единицу массы принимается масса такого тела, которому единица силы (килограмм) сообщает единицу ускорения $м/сек^2$.

Размерность единицы массы $\frac{кг/сек^2}{м}$ (в технических единицах), так как

$$m=P(кг):j\cdot м/сек^2=\frac{P}{j}\left(\frac{кг/сек^2}{м}\right).$$

Для определения массы тела в технических единицах нужно тело свесить и **вес тела разделить на ускорение тяжести.**

Масса и вес—**совершенно различные понятия.**

Масса есть количество вещества в теле независимо от химической структуры тела, причем масса тела **остается одна и та же**, в каком бы месте пространства мы ни поместили данное тело.

Вес тела есть величина переменная. Благодаря различию в величине радиусов земного шара на экваторе и на полюсах, а также благодаря влиянию центробежной силы, тело на экваторе весит на $^1/_{200}$ меньше, чем близ полюсов.

Надо твердо помнить, что в технических единицах мер вес тела измеряется килограммами, а его масса измеряется отношением веса тела к ускорению силы тяжести.

§ 87. Примеры и задачи. 163. Определить силу, необходимую для ускорения масс при пропуске сосновой доски длиною 6 *м*, шириной 300 *мм* и толщиной 70 *мм* через обрезной станок при скорости подачи $U=30$ *м/мин*, развиваемой на пути $S=0,05$ *м*.

Решение. 1) Объем доски—$6\cdot0,30\cdot0,07=0,126$ $м^3$.

2) Вес доски при весе 1 $м^3$—600 *кг*

$$G=0,126\cdot600=75,6 \text{ кг}.$$

3) $$M=\frac{G}{g}=\frac{75,6}{9,81}=7,7 \text{ кг}\cdot см^2/м.$$

4) Сила для ускорения масс

$$P=\frac{M}{j}$$

по формуле, где

$$j=\frac{2S}{V^2}=\frac{0,10}{0,25}=0,4 \text{ м/сек}^2,$$

$$P=\frac{7,7}{0,4}=19 \text{ кг}.$$

164. Определить силу, необходимую для ускорения масс при пропуске дубовой доски длиной 6 *м*, шириной 250 *мм*, толщиной 80 *мм* через строгальный станок при скорости подачи $U=15$ *м/сек*, развиваемой на пути $S=0,06$ *м*.

165. Определить величины сил для ускорения масс тележки с бревном большого круглопильного станка для продольной распиловки, если известно, что вес движущихся масс $G=5000$ *кг*; при рабочем ходе скорость,

развиваемая на пути $S_1=0,12$ *м*, равняется 18 *м/мин*, при холостом ходе скорость, развиваемая на пути $S_2=0,22$ *м*, равняется 60 *м/мин*.

Решение. а) При рабочем ходе:

Сила для ускорения масс

$$P_1=\frac{M\cdot V_1^2}{2S_1},$$

где

$$M=\frac{5000}{9,81}$$

$$V=\frac{18}{60}=0,3\ м/сек:\quad P_1=\frac{5000\cdot 0,3^2}{9,81\cdot 0,4}=115\ кг.$$

б) При холостом ходе:

$$P_2=\frac{M\cdot V_2^2}{2S_2}=\frac{5000\cdot 1^2}{9,81\cdot 0,44}=1163\ кг.$$

166. Определить величины сил для ускорения масс тележки с бревном большой ленточной пилы при следующих данных:

1) G—вес бревна и тележки $=10000$ *кг*.

2) При рабочем ходе скорость тележки, развиваемая на пути $S=0,15$*м*, равняется 20 *м/мин*.

3) При холостом ходе скорость, развиваемая на пути $S=0,4$ *м*, равняется 45 *м/мин*.

167. Найти силу для ускорения масс при стаскивании доски весом 98 *кг*, если последняя стаскивается примерно при скорости, равной $V=0,75$ *м/сек*, считая, что указанную скорость доска получит с момента начала движения в течение 1,5 секунд.

Решение. 1) Ускорение доски

$$j=\frac{V-V_0}{t}=\frac{0,75-0}{1,5}=0,5\ м/сек^2$$

2) Масса доски

$$M=\frac{G}{g}=\frac{98}{9,81}=10\ кг\cdot сек^2/м.$$

3)

$$P=Mj=10\cdot 0,5=5\ кг.$$

168. Определить, в течение какого времени доска приобретает скорость, равную 0,8 *м/сек*, если известно, что доска весит 80 *кг* и сила на ускорение масс равняется 6 *кг*.

Ответ. $t=1$ сек.

169. Для суждения о величинах сил инерции и сравнения их с сопротивлением резания, имеющим величину при 10 пилах порядка 600—700 *кг*, разберем несколько примеров.

Определить максимальное значение сил инерции движущихся вверх и вниз масс у двух лесопильных рам, имеющих нижеследующие одинаковые величины:

1) среднюю скорость резания $V_{ср}=5,2$ *м/сек*;

2) вес колеблющихся частей $G=470$ *кг*;

3) отношение радиуса кривошипа к длине шатура $=\frac{r}{l}=\frac{1}{10}$.

Длины ходов рамы:

а) у первой рамы $H_1=450$ *мм*,

б) у второй рамы $H_2= 550$ *мм*.

Расчет вести по следующей формуле, дающей максимальное значение искомых сил

$$P_{max}=0{,}00055G\cdot H\cdot n^2\left(1+\frac{r}{l}\right),$$

где n число оборотов вала рамы в минуту.

Решение. По первой раме:

По известным $V_{ср}$ и H_1 находим число оборотов вала рамы в минуту n_1:

$$n_1=\frac{30\cdot V}{H_1}=\frac{30\cdot 5{,}2}{0{,}450}=345 \text{ об/мин},$$

$$P_{max}=0{,}00055\cdot G\cdot H_1\cdot n_1^2,$$
$$P_{max}=0{,}00055\cdot 480\cdot 0{,}45\cdot 345^2=14193 \text{ кг}.$$

По второй раме:

$$n_2=\frac{30\cdot V}{H_2}=\frac{30\cdot 5{,}2}{0.55}=285,$$

$$P_{max}=0{,}00055\cdot G\cdot H_2\cdot n_2^2,$$
$$P_{max}=0{,}00055\cdot 480\cdot 0{,}55\cdot 285^2=11793 \text{ кг}.$$

Из этого примера видно, что при одинаковых средних скоростях резания у первой рамы, имеющей меньший ход, силы ускорений движущихся масс при всех равных прочих условиях на 21% больше, чем у первой рамы с большим ходом, а отсюда можно сделать вывод, что увеличение числа оборотов вала рамы вызывает большие силы инерции и поэтому в смысле уменьшения этих сил выгодно давать для достижения необходимых средних скоростей резания большие длины ходов, а не большие числа оборотов рамы.

170. Определить среднюю скорость резания лесопильной рамы при нижеследующих данных:

1) Вес колеблющихся масс рам $G=450$ *кг*.

2) Число оборотов вала рамы в минуту $n=300$.

3) Отношение радиуса к длине шатуна

$$\frac{r}{l}=0{,}125.$$

4) Максимальные силы на ускорение движущихся масс при верхнем мертвом положении

$$P_{max}=12500 \text{ кг}.$$

§ 88. Центробежная и центростремительная силы. При рассмотрении явления инерции было установлено, что движущееся тело стремится сохранить не только скорость, но и направление движения.

Возьмем для примера камень A (рис. 91) и будем его вращать равномерно на веревке.

Если бы веревка внезапно оборвалась, камень A отлетел бы не к точке C а по прямой линии AD. Но так как веревка не обрывается, то A будет описывать круг, потому что веревка не дает ему удалиться от точки вращения; она его постоянно тянет к центру круга и заставляет описывать круг.

Благодаря этому в веревке возникает натяжение.

Сила, с которой камень A при вращении натягивает нитку, есть сила инерции камня. **Она направлена от центра и называется центробежной силой.**

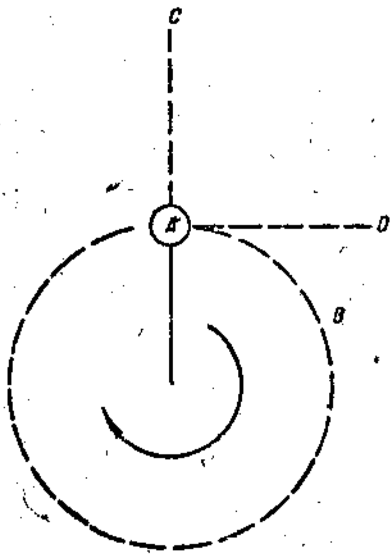


Рис. 91. Влияние центробежной силы.

Следовательно центробежная сила есть сила инерции, направленная вдоль радиуса в криволинейном движении, и равняется она массе тела, умноженной на ускорение. Ускорение же, как указано выше, равно

$$\frac{V^2}{R}.$$

Таким образом центробежная сила равняется

$$F=m\cdot\frac{V^2}{R}. \quad (83)$$

Мы знаем, что угловая скорость

$$\omega=\frac{V}{R},$$

и поэтому

$$\omega^2=\frac{V^2}{R^2}$$

и

$$\frac{V^2}{R}=\frac{V^2\cdot R}{R^2}=\omega^2\cdot R.$$

Подставляя полученную величину и

$$m=\frac{G}{g}$$

в формулу (83), получим:

$$F=m\omega^2R=\frac{G}{g}\omega^2\cdot R. \quad (84)$$

Так как

$$\omega=0{,}1047n \text{ и } \omega^2=0{,}1047^2\cdot n^2=0{,}011n^2,$$

то

$$F=0{,}011R\cdot n^2\cdot\frac{G}{g}. \quad (85)$$

Центробежная сила увеличивается с увеличением скорости, но не прямо пропорционально, а пропорционально квадрату скорости. При увеличении скорости например в два раза центробежная сила увеличивается в 4 раза.

При больших скоростях возможны разрывы вращающихся точильных кругов, маховиков, шкивов. Их разрушает центробежная сила.

Источником центробежной силы, отбрасывающей вращающееся тело от центра, является инерция. И для преодоления инерции на тело должна действовать постоянная сила, направленная к центру и равная силе центробежной. Эту силу называют центростремительной; она стремится притянуть тело к центру вращения.

§ 89. Влияние и применение центробежной силы. Нами будет рассмотрен ряд явлений, основанных исключительно на центробежной силе.

I. Для нормальной работы станков необходимо, чтобы число их оборотов имело постоянную величину.

Для этого всякий двигатель обязательно снабжается регулятором, поддерживающим постоянное число оборотов у двигателя. Центробежный регулятор, изображенный схематически на рис. 92, основан на центробежной силе.

Вал, приводимый в движение машиной, вращает два тяжелых шара, шарнирно связанных муфтой; при увеличении числа оборотов вала шары отбрасываются от оси вращения тем дальше, чем больше скорость вращения машины. Вместе с тем поднимается муфта, соединенная тягой с заслонкой, которая закрывает паропровод. Доступ пара в машину прекращается, и поэтому число оборотов сразу падает, и шары спадают вниз.

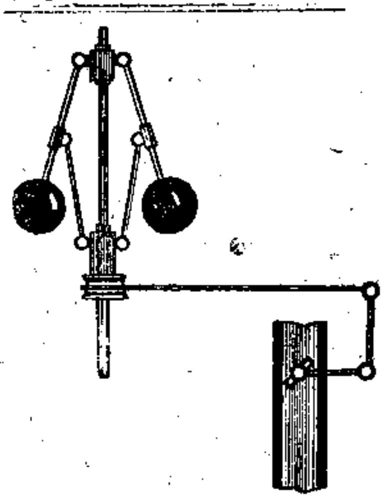


Рис. 92. Центробежный регулятор.

Таким образом регулятор действует совершенно автоматически, поддерживая постоянное число оборотов.

II. В технике центробежной силой пользуются во многих случаях.

В сепараторах центробежной силой отделяют сливки от молока.

На центробежной силе основано действие центробежных насосов и вентиляторов.

На рис. 93 изображена схема такого насоса.

Вода входит через отверстие и проникает в проходы между вращающимися лопатками.

Колесо окружено кожухом с трубой, расположенной по касательной к окружности кожуха, через которую вода, приобревшая громадную скорость, по инерции гонится с большой силой и вместо нее через входное отверстие поступает новое количество воды.

Центробежные насосы при большой скорости могут выбрасывать воду через трубы очень высоко, до 60 *м*, и устанавливаются на некоторых пожарных машинах.

III. Все вращающиеся части машин должны быть хорошо центрированы, т. е. центр масс всех вращающихся около оси частей должен проходить через ось вращения.

Эти требования особенно необходимо выполнять для работы вращающихся валов деревообделочных станков, имеющих громадное число оборотов.

Необходимость хорошего уравновешения масс понятна, ввиду появления значительных центробежных сил, действующих на тела при быстром вращении, величины которых определяются из вышеприведенной формулы (85).

Из этой формулы

$$F=0{,}011Rn^2\frac{Q}{g}$$

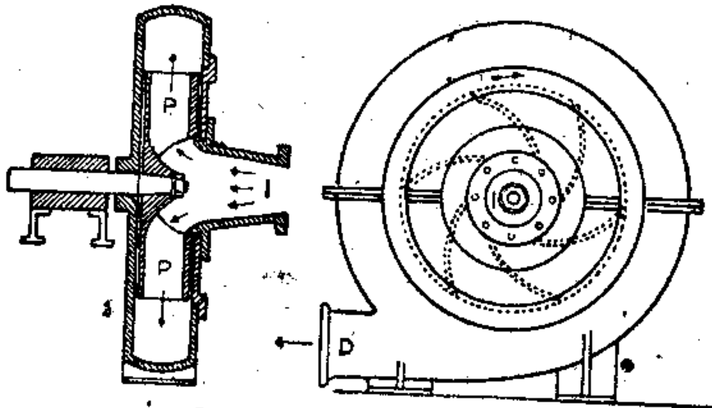


Рис. 93. Центробежный насос.

можно усмотреть, что даже при небольших избыточных массах, сосредоточенных по одну сторону оси, вызывается значительная центробежная сила, пропорциональная квадрату числа оборотов.

И эта центробежная сила, при значительных числах оборотов, меняя постоянно свое направление, вызывает сильнейшие сотрясения во всех деталях станка.

Теперь становится понятным важность правильной установки и режущих инструментов на рабочих валах станков.

IV. Центробежная сила делает предметы жесткими. Примером могут служить диски, полирующие порошком металл. Коленкоровые диски, набранные на оси, в состоянии покоя свешиваются и совершенно мягки, но достаточно привести их в движение, как они благодаря действию центробежной силы распрямляются и становятся жесткими.

Центробежная сила заставляет тонкую круглую пилу резать правильно и прямо, так как малейшее сгибание зубцов приблизило бы их к центру.

Тонкая круглая пила для распиловки дерева имеет форму не плоского диска, а несколько вогнутую тарелкообразную форму. При вращении же, под влиянием центробежной силы, все частицы диска стремятся удалиться от центра и пила принимает форму плоского диска.

РАСЧЕТ РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Ввиду необходимости в практической работе часто проверять расчетом имеющиеся ремни и устанавливать новые, считаем крайне полезным из всех передач дать в заключение курса расчет ременной передачи.

§ 90. Расчет кожаных ремней по Геркенсу. Нами будет рассмотрен наиболее новый расчет приводных ремней, который основан на вычислении ширины ремня, независимо от его толщины, исходя только из окружного усилия, вызываемого передаваемым ремнем числом лошадиных сил, и из допускаемого окружного усилия на 1 *пог. см* ширины ремня.

P—окружное усилия в *кг*, вызываемое передаваемым ремнем, N—количество лошадиных сил определяется по известной нам формуле $N=\frac{P\cdot V}{75}$, из каковой определяем:

$$P=\frac{75N}{V},$$

где V—скорость ремня в *м/сек*.

Допускаемые усилия на 1 *см* ширины ремня K—*кг/см* на основании долголетнего опыта установлены Геркенсом и приведены в нижеследующей таблице.

Величина K *кг/см* кожаного ремня является величиной переменной для одного и того же ремня, в зависимости от диаметра малого шкива данной передачи и скорости.

Ширина ремня в *см* на основании вышеизложенного будет равняться

$$b=\frac{P}{K}\ кг/см \tag{86}$$

Подставляя значение формулы (1), получим:

$$b=\frac{75N}{V\cdot K}\ см. \tag{86a}$$

Из таблицы следует, что чем выше скорость ремня и чем больше диаметр наименьшего из шкивов, тем уже получается ремень.

Данные таблицы Геркенса относятся к наиболее благоприятным условиям, изложенным выше. В случае отступления на практике от этих условий значения K *кг/см* берут меньшие или увеличивают полученную по табличному значению ширину ремня:

1) до 30% при передаче на быстрый ход, т. е. от большего шкива к малому, в зависимости от увеличения передаточного числа в пределах от 2 до 6;

Таблица 11

Таблица допускаемых нагрузок K в *кг* на 1 *см* ширины кожаных ремней по Геркенсу

Род ремня	Диаметр меньшего шкива в *мм*	Скорость ремня в *м/сек*						
		3	5	10	15	20	30	40
Одинарный	100	2	2,5	3	3,5	3,5	3,5	3,5
	200	3	4	5	5,5	6	6,5	6,5
	300	4	5	6	7	7,5	8,5	9
	400	5	6	7	8	9	10	10,5
	500	6	7	8	9	10	11	11,5
	600	7	8	9	10	11	12,5	13
	750	8	9	10	11	12	13	13,5
	1 000	9	10	11	12	13	14	14,5
	1 500	10	11	12	13	13,5	14,5	15
	2 000	11	12	13	13,5	14	15	15,5
Двойной	300	5	6	7	8	9	10	10
	400	6,5	8	9	10	11	12	12,5
	500	8	9,5	11	12	13	13,5	14
	600	9,5	11	12	13	15	16	16,5
	750	11	12,5	14	15,5	17,5	18,5	19,5
	1 000	13	15	17	19	20	22	23
	1 500	15	17	19	21	23	26	27
	2 000	17	19	21	23	25	28	29

2) до 50 % при передаче на тихий ход от малого шкива к большему при тех же условиях для передаточного числа;

3) на 10—20% при вертикальных передачах;

4) на 10—20% при малых расстояниях между центрами шкивов;

5) при передаче полускрещенными ремнями на 20—25%;

6) при угловой передаче на 25%;

7) при сильно неравномерной работе (лесопильные рамы) до 50%.

Независимо от указанных выше поправок проф. Лукин в практике рекомендует:

1) увеличивать ширину ремня на 50% для всех случаев, когда ремень получается по расчету шириной до 50 *мм*;

2) увеличивать ширину ремня на 30% для всех случаев, когда ремень получается по расчету шириной от 5 до 12 *см*.

Размеры кожаных ремней стандартизированы; они изготовляются по ширине следующих размеров в *мм*: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 75, 85, 90, 100, 115, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 350, 400, 450, 550 и т. д. (допускаемое отклонение до 2% и не более 2 *мм*).

Стандартом на кожаные ремни «ОСТ 232» предусматриваются следующие толщины их (табл. 12):

Таблица 12

Ширина ремней в *мм*	Толщина ремней в *мм*	
	Одинарн.	Двойн.
До 45	3,5	—
От 45 до 80	4,0	7
» 80 » 115	4,5	8
» 115 » 150	5,0	9
свыше 150	5,5	9,5

§ 91. Ремни хлопчатобумажные и верблюжьи. При расчете хлопчатобумажных и парусиновых ремней принимают, что 1 *см* ширины ремня может быть передано усилие K при толщине ремня:

в 5 *мм*	5 *кг/см*
» 7 »	8 »
» 9 »	10 »
» 11 »	17 »

Для ремней из верблюжьей шерсти усилие K на 1 *см* ширины ремня берут равным по ширине:

до 100 *мм* — 10 *кг/см*
100 — 150 — 12,5 »
еще большей ширины — 15 »
и для очень тяжелых ремней — 20 »

§ 92. Коэфициент полезного действия ременной передачи. К. п. д. ременной передачи (вместе с валом)

$$\eta=0{,}90-0{,}95.$$

Потери энергии происходят здесь от следующих причин:
1) трение в подшипниках около 2,5%,
2) скольжение ремня » 1%,
3) жесткость ремня » 0,3%,
4) упругость ремня » 0,5%,
5) сопротивление воздуха » 1%.
Итого полная потеря составляет 5% всей передаваемой работы.

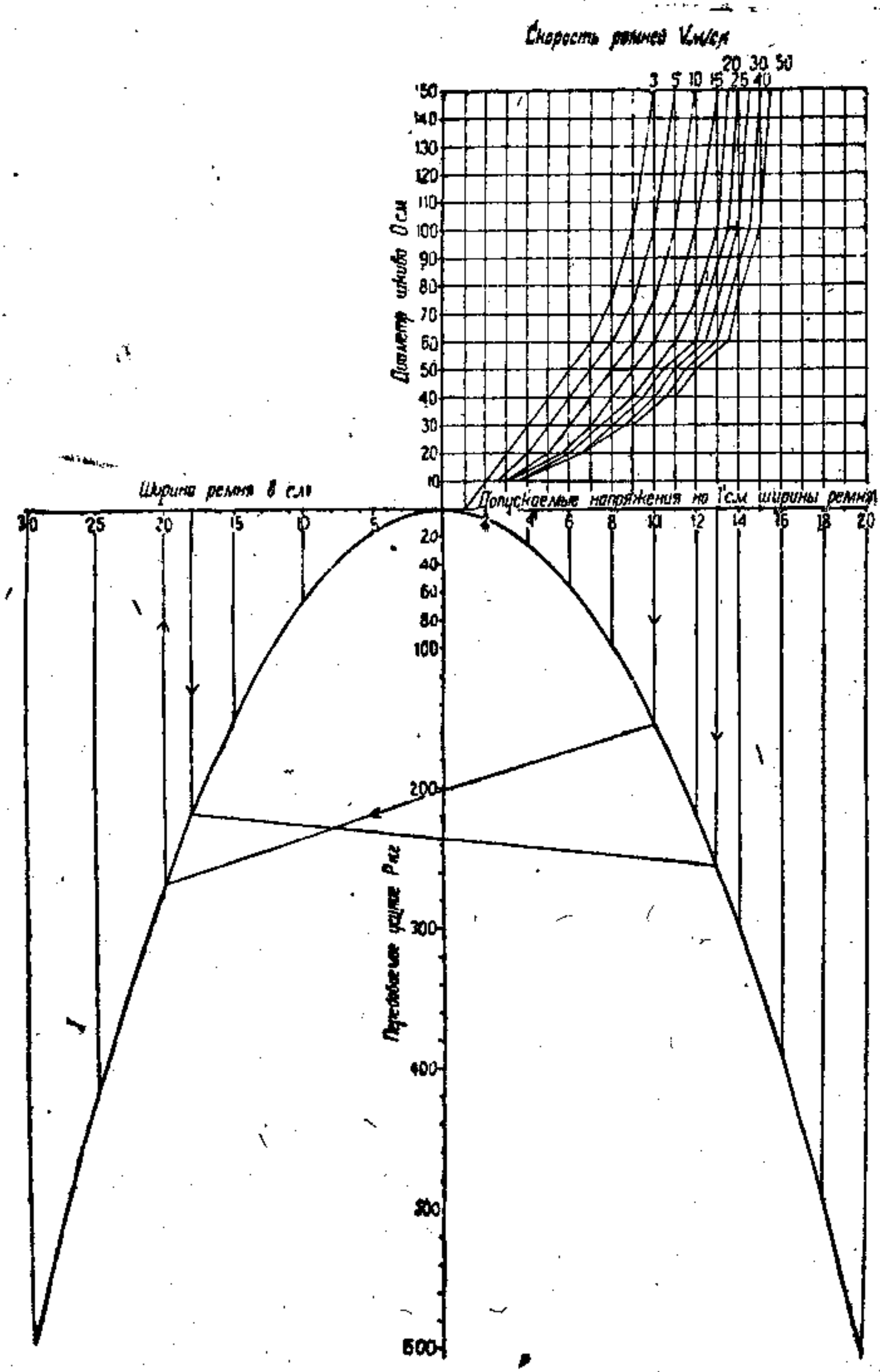
§ 93. Номограммы X и XI графического расчета ременной передачи. На номограммах представлен графический расчет ширины ремней в *см* при данных передаваемых усилиях P в *кг* по Геркенсу.

На верхних частях номограммы представлены графически таблицы Геркенса нагрузок K, передаваемых 1 *см* ширины ремня в *кг* в зависимости от диаметров шкивов D в *см* и скоростей ремня V в *м/сек*.

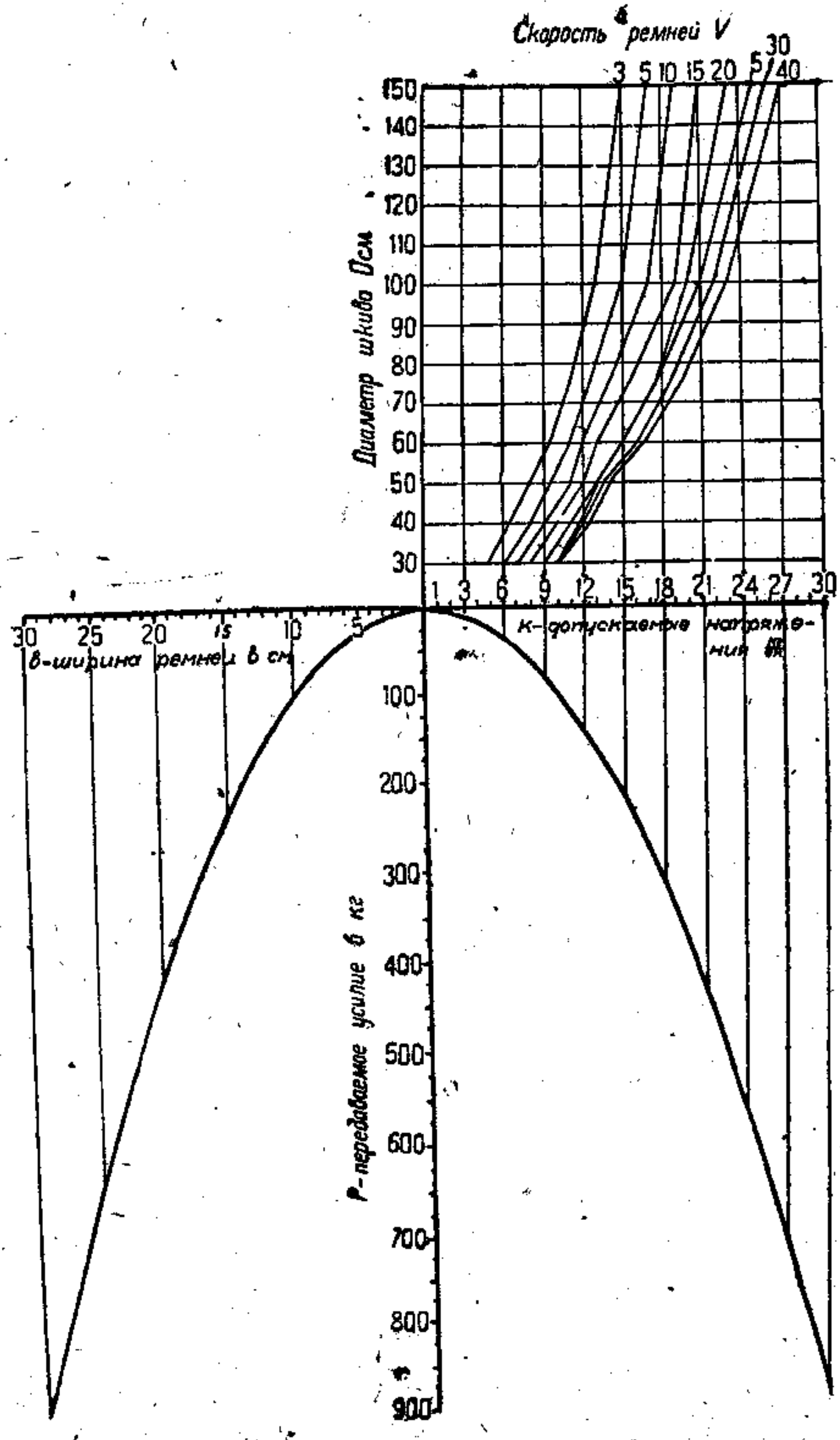
На нижней части номограммы построено уравнение

$$b=\frac{P}{K}.$$

Способ пользования номограммами следующий.



Номограмма X.


Скорость ремней V
3 5 10 15 20 25 30 40
Диаметр шкива D см
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
1 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30
30 25 20 15 10 5
в-ширина ремней в см
к-допускаемые напряжения
100
200
300
400
500
600
700
800
900
P-передаваемое усилие в кг

З а д а ч а 1. Определить ширину одинарного ремня b по следующим данным:

диаметр шкива $D = 75$ *см*,
скорость ремня $V = 10$ *м/сек*,
передаваемое усилие $P = 200$ *кг*.

На номограмме X через деление 75 масштаба диаметров шкивов проводим горизонталь до пересечения с кривой скорости ремня $V = 10$ *м/сек*. Из точки пересечения проводим вертикаль через ось, на которой нанесены допускаемые нагрузки K, до пересечения с параболой. Затем точку параболы соединяем с делением 200 масштаба усилий и продолжаем эту прямую до пересечения со второй ветвью параболы. И наконец через последнюю эту точку проводим вертикаль, которая пересечет масштаб ширины ремня в делении 20. Следовательно искомый результат $b = 20$ *см*.

З а д а ч а 2. Определить, какое усилие P может передать одинарный ремень по следующим данным:

диаметр шкива $D = 100$ *см*,
скорость ремня $V = 20$ *м/сек*,
ширина ремня $b = 18$ *см*,

Через деление 100 масштаба диаметров шкивов проводим горизонталь до пересечения с кривой скорости ремня $V = 20$ *м/сек*. Из точки пересечения проводим вертикаль через ось, на которой нанесены допускаемые нагрузки K до пересечения с первой ветвью параболы. Затем через деление 18 масштаба ширины ремней проводим вертикаль до пересечения со второй ветвью параболы и точки пересечения обеих ветвей параболы соединяем прямой. Точка пересечения этой прямой с масштабом передаваемых усилий P даст искомое решение : $P = 235$ *кг*.

§ 94. Примеры расчета ременной передачи. 171. Требуется рассчитать передачу кожаным ремнем от паровой машины мощностью $N = 100$ *л.с.* с числом оборотов $n_1 = 180$, если диаметр маховика $D_1 = 200$ *мм*, а диаметр ведомого шкива — D_2, работающего на одном ремне с маховиком, составляет 750 *мм*.

Определим скорость ремня

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 2{,}0 \cdot 130}{60} = 19 \text{ м/сек}.$$

Найдем по таблице Геркенса нагрузку, передаваемую 1 *см* ширины ремня. Так как соответствующих данных в таблице не имеется, то придется находить искомую нагрузку интерполированием, а именно: взяв диаметр меньшего шкива в 750 *мм*, мы находим, что при $V = 10$ *м/сек* и одинарном ремне передаваемая нагрузка $K = 10$ *кг*, а при $V = 20$ *м/сек* нагрузка $K = 12$ *кг*.

Следовательно при данной скорости $V = 19$ *м/сек* нагрузка составит:

$$K = 10 + \frac{12 - 10}{10} \cdot 9 = 11{,}8 \text{ кг},$$

так как увеличению скорости на 10 *м/сек* соответствует увеличение передаваемой нагрузки на 2 *кг*.

Делением 2 на 10 мы устанавливаем увеличение нагрузки K, падающей на 1 *м/сек* скорости.

Итак, 1 *см* ширины ремня в состоянии передать 11,8 *кг*.

Определяем окружное усилие, передаваемое ремнем, по формуле

$$P=\frac{75\cdot N}{V}=\frac{75\cdot 120}{19}=477\ кг$$

и требуемая ширина ремня

$$b=\frac{P}{K}=\frac{477}{11,8}=40\ см.$$

Так как передаточное число $\frac{2000}{750}$ больше 2, то увеличиваем ширину ремня на 10% и окончательно ширина ремня $b=440$ *мм.*

172. Требуется рассчитать передачу кожаным ремнем от трансмиссии на лесопильную раму, потребляющую мощность $N = 50$ *л. с.* с числом оборотов $n_2 = 290$ и диаметром рамного шкива $D_2 = 100$ *мм.*

Диаметр ведущего шкива $D_1 = 800$ *мм.*

Определим скорость рамного ремня:

$$V=\frac{\pi\cdot D_2\cdot n_2}{60}=\frac{3,14\cdot 1,0\cdot 200}{60}=15\ м/сек.$$

Найдем в таблице Геркенса нагрузку, передаваемую 1 *см* ширины одинарного ремня.

Взяв диаметр меньшего шкива в 750 *мм*, мы находим, что при $V = 15$ *м/сек* — нагрузка $K=11$ *кг*, а при $D=1000$ $K = 12$ *кг* на 1 *пог. см* ширины ремня, следовательно при данном диаметре, равном 800 *мм*, искомая нагрузка составит

$$K=11+\frac{(12-11)\cdot 50}{250}=11,2.$$

Так как увеличению диаметра на 250 *мм* соответствует увеличение передаваемой нагрузки на 1 *см* ремня на 1 *кг*, то делением 1 на 250 мы устанавливаем увеличение нагрузки K, падающей на 1 *мм* диаметра шкива.

Итак, 1 *см* ширины ремня в состоянии передать 11,2 *кг*.

Определяем окружное усилие, передаваемое ремнем по формуле

$$P=\frac{75\cdot N}{V}=\frac{75\cdot 50}{15}=250\ кг$$

и требуемая ширина ремня

$$b=\frac{P}{K}=\frac{250}{11,2}=22,3\ см.$$

Так как в лесопильных рамах ремень работает весьма неравномерно, то увеличиваем ширину на 30% и окончательно ширина ремня $b=290$ *мм.*

Ширина обода рамного шкива не позволяет поставить ремень шире 200 *мм*, поэтому заключаем, что одинарный ремень не может быть поставлен и необходимо установить двойной ремень шириной $b = 200$ *мм.*

Проверим расчетом выбранную ширину двойного ремня при $V = 15$ *м/сек* для шкива:

диаметром 750 *мм* нагрузка $K = 15{,}5$, диаметром 1 000 *мм* нагрузка $K = 19$ *кг*.

Следовательно при даиметре 800 *мм* искомая нагрузка

$$K = 15\cdot 5 + \frac{19-15{,}5(800-750)}{1000-750} = 15\cdot 5 + 0{,}7 = 16{,}2 \text{ кг.}$$

Итак, 1 *см* ширины двойного ремня может передать 16,2 *кг*.

Выше нами подсчитано, что усилие, передаваемое ремнем $P = 250$ *кг* и поэтому требуется ширина ремня

$$b = \frac{P}{K} = \frac{250}{16{,}2} = 15{,}7 \text{ см.}$$

Увеличивая ширину ремня на 30%, получим окончательно

$$b = 204 \text{ мм.}$$

Расчет показывает, что выбранная нами ширина двойного ремня соответствует требованиям.

173. Рассчитать передачу кожаным ремнем от электромотора мощностью $N = 3$ *л. с.* с числом оборотов $n = 1\,440$ и диаметром $D_1 = 200$ *мм* на круглопильный станок с диаметром пильного шкива $D_2 = 180$ *мм*.

Расстояние между центрами шкивов небольшое.

Определим скорость ремня:

$$V = \frac{\pi\cdot D_1\cdot n}{60} = \frac{3{,}14\cdot 0{,}2\cdot 1440}{60} = 15 \text{ м/сек.}$$

Найдем по таблице Геркенса нагрузку, передаваемую 1 *см* ширины ремня.

При $V = 15$ *м/сек* и одинарном ремне для шкива

диаметром 100 *мм* нагрузка = 3,
» 200 » « = 5,5

Следовательно при диаметре шкива 180 *мм* искомая нагрузка равна

$$3 + \frac{5{,}5-3(180-100)}{200-100} = 5.$$

Итак, 1 *см* ширины ремня может передать 5 *кг*.

Определим окружное усилие, передаваемое ремнем, по формуле:

$$P = \frac{75\cdot N}{V} = \frac{75\cdot 3}{15} = 15 \text{ кг}$$

и требуемая ширина ремня

$$b = \frac{P}{K} = \frac{15}{5} = 3 \text{ см.}$$

Увеличиваем ширину ремня, ввиду малого расстояния между центрами шкивов, на 20%, получим $b = 3{,}6$ *мм*.

Так как ремень получается по расчету шириной до 50 *мм*, то увеличиваем (по указанию проф. Лукина) ширину ремня на 50% и окончательно $b = 54$ *мм*.

Устанавливаем (ближайший размер изготавливаемых по стандарту) одинарный ремень шириной 60 *мм*.

Латинская азбука		Греческая азбука	
A, a	А.	Α, α	альфа.
B, b	Бэ.	Β, β	бэта.
C, c	Цэ.	Γ, γ	гамма.
D, d	Дэ.	Δ, δ	дельта.
E, e	Э,	Ε, ε	епсилон.
F, f	Эф.	Ζ, ζ	дзета.
G, g	Же.	Η, η	эта.
H, h	Аш.	Θ, θ	тста.
I, i	И.	Ι, ι	иота.
J, j	Жи.	Κ, κ	каппа.
K, k	Ка.	Λ, λ	лямбда.
L, l	Эль.	Μ, μ	ми.
M, m	Эм.	Ν, ν	ни.
N, n	Эн.	Ο, ο	омикрон.
O, o	О.	Π, π	пи.
P, p	Пе.	Ρ, ρ	ро,
Q, q	Ку.	Σ, σ, ς	сигма.
R, r	Эр.	Τ, τ	тау.
S, s	Эс.	Υ, υ	ипсилон.
T, t	Тэ.	Φ, φ	фи.
U, u	У.	Χ, χ	хи.
V, v	Вэ.	Ξ, ξ	кси.
W, w	Дубльвэ	Ψ, ψ	пси.
X, x	Икс.	Ω, ω	омега.
Y, y	Игрек.		
Z, z	Зет.		

Разные числовые величины

Величины	Значение	Величины	Значение	Величины	Значение	Величины	Значение
π	3,1415927	$\pi^2:4$	2,4674011	$\sqrt{1/4}$	0,50000	$3/8$	0,375
2π	6,2831853	$\pi\sqrt{2}$	4,442883	$\sqrt{3/4}$	0,86603	$1/2$	0.500
3π	9.424780	g	9,81	$\sqrt{1/6}$	0,40825	$5/8$	0,625
$\pi:2$	1,5707963	g^2	96,2361	$\sqrt{1/7}$	0,37796	$3/4$	0,750
$\pi:4$	0,7853982	$\sqrt{g}$	3,132091	$\sqrt{1/8}$	0,35355	$7/8$	0,875
π^2	9,8696044	e	2,718282	$\sqrt{3/8}$	0,61237	$1/16$	0.0625
π^3	31,006277	e^2	7,389056	$\sqrt{5/8}$	0,79057	$1/32$	0,03125
$1:\pi$	0,318410	$1:e$	0,367879	$\sqrt{7/8}$	0,93541	$1/64$	0,015625
$\sqrt{\pi}$	1,772453	$\sqrt{e}$	1,648721	$\sqrt{1/9}$	0,33333		
$\sqrt[3]{\pi}$	1,4645919	$\sqrt{1/3}$	0 57735	$1/8$	0,125		
$4\pi^2$	39,478418	$\sqrt{2/3}$	0,81650	$1/4$	0,250		

Соотношения между основными электрическими величинами

Величины	Постоянный ток	Переменный ток
Ватты	Амперы × вольты=	Амперы × вольты × cos φ
Вольты	Ватты : амперы=	Ватты : амперы × cos φ
Амперы	Ватты : вольты=	Ватты : вольты × cos φ

Коэфициент мощности тока—cos φ можно брать при приблизительных подсчетах для моторных установок 0,7.

Таблица окончательных скоростей для высот падений от 0 до 38 *м*

h в *м*	*v* в *м/сек*	*h* в *м*	*v* в *м/сек*	*h* в *м*	*v* в *м/сек*	*h* в *м*	*v* в *м/сек*
0,00	0,0000	2,0	6,2642	5,0	9,9045	12,5	15,660
0,05	0,9905	2,1	6,4189	5,2	10,101	13,0	15,971
0,10	1,4007	2,2	6,5699	5,4	10,293	13,5	16,275
0,15	1,7155	2,3	6,7176	5,6	10,482	14,0	16,573
0,20	1,9809	2,4	6,8621	5,8	10,668	14,5	16,867
0,25	2,2147	2,5	7,0036	6,0	10,850	15,0	17,155
0,30	2,4261	2,6	7,1423	6,2	11,029	15,5	17,439
0,35	2,6205	2,7	7,2783	6,4	11,206	16,0	17,718
0,40	2,8014	2,8	7,4119	6,6	11,380	16,5	17,990
0,45	2,9714	2,9	7,5431	6,8	11,551	17,0	18,263
0,50	3,1321	3,0	7,6720	7,0	11,719	17,5	18,530
0,55	3,2850	3,1	7,7988	7,2	11,886	18,0	18,793
0,60	3,4311	3,2	7,9236	7,4	12,049	18,5	19,052
0,65	3,5711	3,3	8,0465	7,6	12,211	19,0	19,308
0,70	3,7059	3,4	8,1675	7,8	12,371	19,5	19,560
0,75	3,8360	3,5	8,2867	8,0	12,528	20	19,809
0,80	3,9618	3,6	8,4043	8,2	12,684	21	20,298
0,85	4,0838	3,7	8,5202	8,4	12,838	22	20,776
0,90	4,2021	3,8	8,6346	8,6	12,990	23	21,243
0,95	4,3173	3,9	8,7475	8,8	13,140	24	21,670
1,0	4,4295	4,0	8,8589	9,0	13,288	25	22,147
1,1	4,6456	4,1	8,9690	9,2	13,435	26	22,586
1,2	4,8522	4,2	9,0777	9,4	13,580	27	23,016
1,3	5,0504	4,3	9,1851	9,6	13,724	28	23,438
1,4	5,2410	4,4	9,2913	9,8	13,866	29	23,854
1,5	5,4249	4,5	9,3963	10,0	14,007	30	24,261
1,6	5,6028	4,6	9,5001	10,5	14,353	32	25,057
1,7	5,7753	4,7	9,6028	11,0	14,691	34	25,828
1,8	5,9427	4,8	9,7004	11,5	15,021	36	26,577
1,9	6,1056	4,9	9,8050	12,0	15,344	38	27,335

Перевод лошадиных сил (*л. с.*) в киловатты

л. с.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	0,74	1,47	2,21	2,94	3,68	4,41	5,15	5,88	6,62
10	7,35	8,09	8,83	9,56	10,30	11,03	11,77	12,50	13,24	13,97
20	14,71	15,45	16,18	16,92	17,65	18,39	19,12	19,86	20,59	21,33
30	22,06	22,80	23,54	24,27	25,01	25,74	26,48	27,21	27,95	28,68
40	29.12	30,16	30,89	31,63	32,36	33,10	33,83	34,57	35,30	36,04
50	36,77	37,51	38,25	38,98	39,72	40,45	41,19	41,92	42,66	43,39
60	44,13	44,87	45,60	46,34	47,07	47,81	48,54	49,28	50,01	50,[illegible]
70	51,48	52,22	52,96	53,69	54,43	55,16	55,90	56,63	57,37	58,10
80	58,84	59,58	60,31	61,05	61,78	62,52	63,25	63,99	64,72	65,46
90	66,19	66,93	67,67	68,40	69,14	69,87	70,61	71,34	72,08	72,81
100	73,55	74,29	75,02	75,76	76,49	77,23	77,96	78,70	79,43	80,17
110	80,90	81,64	82,38	83,11	83,85	84,58	85,32	86,05	86,79	87,52
120	88,26	89,00	89,73	90,47	91,20	91,94	92,67	93,41	94,14	94,88
130	95,61	96,35	97,09	97,82	98,56	99,29	100,0	100,8	101,5	102,2
140	103,0	103,7	104,4	105,2	105,9	106,6	107,4	108,1	108,9	109,6
150	110,3	111,1	111,8	112,5	113,3	114,0	114,7	115,5	116,2	116,9
160	117,7	118,4	119,1	119,9	120,6	121,4	122,1	122,8	123,6	124,3
170	125,0	125,8	126,5	127,2	128,0	128,7	129,4	130,2	130,9	131,7
180	132,4	133,1	133,9	134,6	135,3	136,1	136,8	137,5	138,3	139,0
190	139,7	140,5	141,2	142,0	142,7	143,4	144,2	144,9	145,6	146,4
200	147,1	147,8	148,6	149,3	150,0	150,8	151,5	152,2	153,0	153,7
210	154,5	155,2	155,9	156,7	157,4	158,1	158,9	159,6	160,3	161,0
220	161,8	162,5	163,3	164,0	164,8	165,5	166,2	167,0	167,7	168,4
230	169,2	169,9	170,6	171,4	172,1	172,8	173,6	174,3	175,0	175,8
240	176,5	177,3	178,0	178,7	179,5	180,2	180,9	181,7	182,4	183,1
250	183,9	184,6	185,3	186,1	186,8	187,6	188,3	189,0	189,8	190,5
260	191,2	192,0	192,7	193,4	194,2	194,9	195,6	196,4	197,1	197,8
270	198,6	199,3	200,1	200,8	201,6	202,3	203,0	203,7	204,5	205,2
280	205,9	206,7	207,4	208,1	.08,9	209,6	210,4	211,1	211,8	212,6
290	213,3	214,0	218,8	215,5	216,2	217,0	217,7	218,4	219,2	219,9
300	220,7	221,4	222,9	222,9	223,6	224,3	225,1	225,8	226,5	227,3

ОГЛАВЛЕНИЕ

Отв. ред. **М. П. Смирнов—Чубриков.** Техн. ред. **Г. В. Балицкий.**

Сдано в производство 27/XI 1932 г. Подписано к печати 20/V 1933 г.

Формат 62×94 1/16. Об'ем 10 3/4 п. л.

Уполн. Главл. В—56448. Заказ № 3377 Тираж 10.000

Типография издательства «Крестьянская газета», Москва, Сущевская, 21.