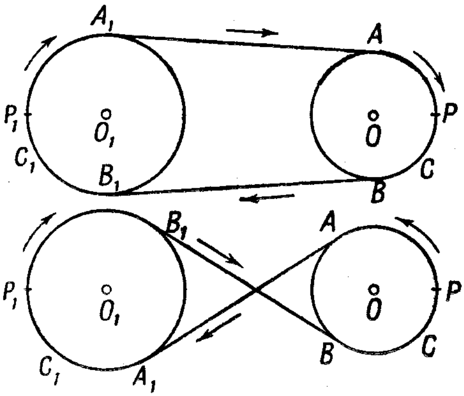
Заметим, что если речь идет о касательных составляющих, направленных в сторону отсчета дуг, произведение $-F_t\,ds$ будет положительным, и величина T должна, следовательно, возрастать от A к B. Тогда имеем $\Delta T = T_B - T_A$.

§ 6. Ременные передачи

28. Вращательное движение можно, как известно, передавать с одного вала на другой, параллельный первому, посредством ремня, натянутого на два шкива, каждый из которых жестко соединен с соответствующим валом; оба шкива должны лежать в одной и той же плоскости, нормальной к обеим осям вращения.

Обратимся к этому случаю и изобразим оба шкива в виде двух окружностей C и C_1 (фиг. 80); обозначим через O и O_1 их центры, т. е. следы соответствующих осей, через A, A_1 и B, B_1 — точки касания общих касательных к двум окружностям (внешних или внутренних в зависимости от того, будет ли передача открытой или перекрестной).



Фиг. 80.

Ремень расположится приближенно по замкнутому контуру, состоящему из двух дуг окружностей $\overset{\frown}{APB}$, $\overset{\frown}{A_1P_1B_1}$ и из двух прямолинейных отрезков AA_1, BB_1. Предполагая для определенности, что C_1 является ведущим шкивом и шкивы вращаются в стороны, указанные на фиг. 80 стрелками, будем называть отрезок BB_1 ремня (в котором движение обращено к ведущему шкиву) *ведущим*, а отрезок AA_1 *ведомым*.

При установившемся режиме точки ремня движутся с постоянной скоростью, которая передается наружным (рабочим) поверхностям ободов шкивов. После того, как материальный элемент ремня приходит в соприкосновение в положении A (или B_1) с материальным элементом шкива C (или шкива C_1), он остается в соприкосновении с тем же самым элементом до положения B (или соответственно A_1).

Поэтому, обозначив через r и r_1 радиусы шкивов C, C_1 и через ω и ω_1 угловые скорости установившегося движения (соответственно вокруг O и O_1), мы получим, приравнивая линейные окружные скорости,

$$r\omega = r_1\omega_1. \tag{15}$$

29. Предположим, что на ведущий вал O_1 (равномерно вращающийся с заданной угловой скоростью ω_1) накинут ремень для того, чтобы заставить вращаться с угловой скоростью ω другой вал O, преодолевая некоторые сопротивления, момент которых относительно оси вращения (точнее, абсолютную величину этого момента) мы обозначим через γ.

Согласно уравнению (15), мы должны выбрать радиусы r и r_1 обратно пропорциональными угловым скоростям ω и ω_1. Что же касается ремня, то ясно, что он, во-первых, не должен быть натянут слишком слабо, потому что в таком случае или на него не было бы воздействия со стороны шкива C_1 или же он сбегал бы с обода шкива (или даже с ободов обоих шкивов), не сообщая валу O желательного вращения. Но ясно также, что ремень не должен быть и слишком сильно натянут, так как в этом случае увеличится бесцельно трение (между осями валов и соответствующими подшипниками) и, следовательно, потребуется большая мощность у ведущего вала.

Для того чтобы рассмотреть точнее этот вопрос, определим различные силы, действующие на шкив C и неизменно связанный с ним вал, имея в виду, что по существу речь идет о твердом теле с неподвижной осью, находящемся в равномерном вращении, и что, следовательно, силы должны удовлетворять соответствующему условию относительного равновесия, т. е. должен исчезать результирующий момент относительно неподвижной оси всех внешних сил, действующих на шкив C (центробежные силы ничего не прибавляют к этому моменту).

Действительно приложенными силами будут:

1) Силы, с которыми ремень действует на шкив C вдоль дуги $\widehat{APB}$. Их результирующий момент равен (п. 27) $r\Delta T$. Так как в предположенных условиях касательные составляющие этих сил действуют вдоль дуги $\widehat{APB}$ в сторону от A к B, то (согласно замечанию в конце п. 27) будем иметь

$$T_B > T_A \quad \text{и} \quad \Delta T = T_B - T_A.$$

2) Различные сопротивления, которые можно разделить на полезные и вредные (пассивные сопротивления).

Результирующий момент первых представляет собой данную величину, которую мы обозначим через γ.

Пассивные же сопротивления, между которыми преобладающим является трение оси о подшипники, наоборот, существенно зависят от натяжения ремня. Обозначим неизвестный заранее момент пассивных сопротивлений через α. Тогда $\gamma + \alpha$ будет общим моментом сопротивления.

Поэтому будем иметь

$$r\Delta T = \gamma + \alpha. \qquad (16)$$

30. Задача, которую мы теперь будем рассматривать, заключается в следующем. Подобрать натяжение ремня так, чтобы:

а) части ремня, налегающие на внешние поверхности ободов, находились в относительном равновесии;

б) выполнялось равенство (16);

в) пассивные сопротивления были сведены к минимуму. Заметим сначала, что при условии хорошей работы передачи величина α должна представлять собой незначительную часть от γ, так что равенство (16) (с приближением, достаточным для практически интересных случаев) может быть заменено равенством

$$r\Delta T=\gamma. \tag{16'}$$

Условие заключается, таким образом, в том, что разность между натяжениями на концах дуги $\overset{\frown}{APB}$ должна иметь заданное значение.

Далее, легко видеть, что для выполнения условия „б" надо уменьшить, насколько возможно, натяжение или, если задана разность $\Delta T=T_B-T_A$ между значениями натяжений на концах, уменьшить, насколько возможно, T_A (конечно, при выполнении условия „а", обеспечивающего относительное равновесие по отношению к C).

Мы пришли таким образом к условиям п. 25, и, следовательно, для ответа на вопрос задачи должны присоединить к уравнению (16′) предельное соотношение (14) [или (14′), если угловая скорость не слишком велика].

Если в равенство (14) внесем вместо T_B значение $T_A+\gamma/r$, полученное из соотношения (16′), то для определения T_A окончательно будем иметь уравнение

$$\frac{T_A+\frac{\gamma}{r}-p\frac{\omega^2r^2}{g}}{T_A-p\frac{\omega^2r^2}{g}}=e^{f\theta},$$

откуда

$$T_A=p\frac{\omega^2r^2}{g}+\frac{\gamma}{r(e^{f\theta}-1)}\,; \tag{17}$$

здесь первый член большей частью весьма мал по сравнению со вторым.

31. Надо заметить, что угол θ (строго равный π, если мы имеем открытую передачу между двумя равными шкивами) во всяком случае будет достаточно близок к π.

На практике обычно для предохранения от соскакивания натяжению задается величина, несколько большая ее нижнего предела. Для T_A берется значение, несколько большее значения, даваемого формулой (17), когда в нее вместо θ подставляется постоянная $4\pi/5$.

При $f = 0{,}28$ (среднее значение коэффициента трения для ремней из кожи, на шкивах из чугуна) $e^{0,28\cdot(4/5)\pi}$ очень близко к 2, и поэтому формулу (17) можно взять в виде

$$T_A = p\frac{\omega^2 r^2}{g} + \frac{\gamma}{r} \tag{17'}$$

или, для умеренных скоростей, в виде

$$T_A = \frac{\gamma}{r}. \tag{17''}$$

Отметим еще, что когда мы пользуемся формулой (17″), что встречается в большей части обычных случаев, то из равенства (16′) имеем

$$T_B = T_A + \frac{\gamma}{r} = 2T_A,$$

т. е. натяжение ведущей части ремня равно удвоенному натяжению ведомой части.

32. Мы не заботились о выполнении условия относительного равновесия ремня относительно шкива C_1 (условие „a“). Это оправдывается тем обстоятельством, что если исключается проскальзывание на шкиве C, то практически будет исключено и проскальзывание на шкиве C_1.

Чтобы убедиться в этом, заметим, что на двух прямолинейных частях ремня натяжения постоянны[1]), так что имеем $T_{A_1} = T_A$, $T_{B_1} = T_B$. Условие относительного равновесия (п. 25) части $A_1P_1B_1$ ремня относительно шкива C_1 может быть написано в виде

$$\frac{T_B - \frac{p}{g}\,\omega^2 r^2}{T_A - \frac{p}{g}\,\omega^2 r^2} \leqslant e^{f\theta_1},$$

где через θ_1 обозначен угол, соответствующий дуге $A_1P_1B_1$. Это неравенство, конечно, удовлетворяется найденными значениями T_A и T_B. Действительно, мы нашли эти значения из уравнений

$$\frac{T_B - \frac{p}{g}\,\omega^2 r^2}{T_A - \frac{p}{g}\,\omega^2 r^2} = e^{f\theta} \tag{14}$$

$$r\Delta T = \gamma, \tag{16'}$$

[1]) Прямолинейные части ремня, которые сбегают со шкивов с постоянной скоростью, могут рассматриваться как находящиеся в относительном равновесии по отношению к осям, движущимся поступательно, и притом прямолинейно и равномерно. Условия относительного равновесия будут тогда тождественны (п. 5) с условиями абсолютного равновесия; с другой стороны, постоянство растягивающего усилия в прямолинейной части ремня, на которую не действуют силы, является, как мы знаем (ср. гл. XIV, п. 35), непосредственным следствием из основного постулата.

в которых из осторожности взяли для угла θ численное значение, несколько меньшее того значения, которое он может иметь в каждом конкретном случае. Поэтому мы необходимо будем иметь

$$\frac{T_B - \frac{p}{g}\omega^2 r^2}{T_A - \frac{p}{g}\omega^2 r^2} = e^{f\theta} < e^{f\theta_1}.$$

§ 7. Вес и притяжение Землею. Изменение ускорения силы тяжести с широтою. Отклонение вертикали

33. Рассмотрим материальную точку P, находящуюся вблизи от земной поверхности, и предположим, что P не находится в соприкосновении с другими телами, и на нее не действуют силы, происходящие от каких-либо специальных устройств. Тогда остается одна сила, „вес“ точки P, которую можно, следовательно, рассматривать, как такую силу, уравновесив которую, мы помешаем точке падать или, иначе, удержим ее в (относительном) равновесии по отношению к Земле.

Сопоставим это экспериментальное утверждение с законом всемирного тяготения (гл. XI, п. 2). Согласно этому закону на нашу материальную точку P (которая, как мы сказали, предполагается свободной от действия какой-либо искусственно вызванной силы) действуют силы притяжения других тел и только эти силы. Так как, далее, благодаря огромным расстояниям, притяжения различных небесных тел будут ничтожны по сравнению с земным притяжением G, то это притяжение и будет по существу единственной силой, действующей на P. Поэтому для того, чтобы удержать точку P в *абсолютном* равновесии, необходимо и достаточно было бы уравновесить силу G. Если же мы хотим рассматривать относительное равновесие по отношению к осям, неизменно связанным с Землей, то мы должны (п. 3) присоединить к G переносную силу инерции χ, происходящую от движения этих осей (относительно неподвижных звезд).

Таким образом, основываясь на законе всемирного тяготения, мы приходим к заключению, что вес представляет собой *сумму $G+\chi$ земного притяжения и переносной силы инерции.*

Прежде всего, путем простой качественной оценки, мы можем убедиться, что поведение величины $G+\chi$ согласуется с поведением силы, наблюдаемой нами как вес.

Переходя от качественной оценки к количественной, мы можем (ограничиваясь даже первым приближением в вычислении G) объяснить характер изменения ускорения силы тяжести на земной поверхности (см. гл. II, п. 27). Это дает нам очевидное подтверждение совершенной достоверности закона Ньютона. Более точные подтверждения этот закон получил в астрономии (движение