

Ответы и решения

1. При движении левого поршня вниз, а правого вверх увеличивается давление в левой камере насоса и уменьшается в правой. Поэтому нижний левый клапан закрывается, левый боковой – открывается, пропуская воду из левой камеры в центральную. В это же время правый боковой поршень закрывается, не пропуская воду из центральной камеры в правую. Правый нижний поршень

в это время открывается, и благодаря уменьшению давления в правой камере, вода засасывается из водоема в правую камеру. Затем процесс повторяется.

Разница между насосами заключается в следующем. Правый насос дает напор воды только при движении поршней. Около «мертвой точки» их движения поршни не давят на воду, вода не течет. Т.е. правый насос работает прерывисто. В левом насосе за счет сжатия воздуха в камере А создано повышенное давление. В результате левый насос обеспечивает непрерывное откачивание воды даже около точек «мертвого хода» поршней.

2. Песчинки представляют собой маленькие кусочки двуокиси кремния неправильной формы. Поэтому насыпная плотность песка зависит от степени его «уплотнения», когда «неправильности» песчинок находят друг друга, и насыпная плотность песка может приближаться к истинной. Если же никаких специальных усилий по уплотнению песка не предпринимается, между песчинками остаются пустоты, и его насыпная плотность может быть значительно меньше истинной. Оценим насыпную плотность. Будем для оценки считать, что песчинки представляют собой шарики радиуса r . Конечно, это предположение является неверным, однако промежутки между песчинками неправильной формы без специальных усилий по уплотнению песка в каких-то случаях являются большими, в каких-то - меньшими, чем пустоты между шариками, и предположение о круглой форме песчинок для вычисления объема пустот является разумным. Пусть песок заполняет куб с ребром a . Тогда в кубе содержатся $N \sim (a/2r)^3$ песчинок, имеющих суммарный объем

$$V = N \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{1}{6} \pi a^3$$

Поэтому масса песка в объеме куба равна

$$m = \rho V = \frac{1}{6} \pi \rho a^3$$

где ρ - истинная плотность песка. Отсюда находим насыпную плотность песка, как отношение массы песка в объеме куба к его объему

$$\rho_0 = \frac{m}{a^3} = \frac{1}{6} \pi \rho \approx \frac{1}{2} \rho = 1300 \text{ кг/м}^3$$

Как следует из этой формулы насыпная плотность приблизительно вдвое меньше истинной и не зависит от размера песчинок (при условии, что все они имеют одинаковый размер).

3. Тепловая трубка работает следующим образом. Температуру кипения жидкости следует подобрать так, чтобы она имела промежуточное значение между температурой устройства и температурой окружающей среды. Тогда между деталью и кипящей жидкостью идет теплообмен. Благодаря поступлению тепла жидкость выкипает, пар поднимается вверх, контактирует с окружающей средой, отдает ей энергию и конденсируется в верхней части трубки. Затем под действием силы тяжести сконденсировавшаяся жидкость с температурой окружающей среды опускается вниз, снова нагревается за счет теплообмена с горячим устройством, выкипает и т.д.

Эффективность охлаждения с помощью тепловых трубок связана с тем, что при небольших перепадах температур ΔT единица массы теплоносителя способна принять гораздо меньшее количество теплоты для нагревания (на эту величину), чем для испарения. Например, для воды

$$c\Delta T < \lambda$$

При $\Delta T < 500^\circ$. Поэтому при малых ΔT (а при охлаждении материнской платы компьютера эта величина порядка 30°) нужно обеспечить большой поток теплоносителя. Оценить этот поток можно так. Если трубка в единицу времени переносит $\Delta m \lambda$ тепла (где Δm - масса жидкости, выкипающей в единицу времени), то такое же количество тепла можно передать с помощью обычного теплопереноса для следующей массы теплоносителя ΔM :

$$c\Delta M \Delta T = \Delta m \lambda$$

где ΔT - разность температур между устройством и теплоносителем, которая по порядку величины близка к разности температур между устройством и окружающей средой. Отсюда получаем

$$\frac{\Delta M}{\Delta m} = \frac{\lambda}{c\Delta T} \sim 20$$

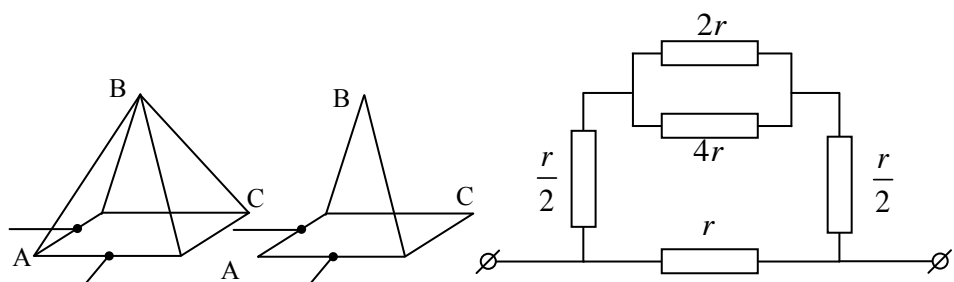
Т.е. для осуществления такой же теплопередачи, как у тепловой трубки необходимо пропускать около охлаждаемого устройства в 20 раз больше теплоносителя, чем его выкипает в трубке.

Для работы трубки в горизонтальной ориентации (и даже с наклоном вниз) необходимо предложить механизм возврата жидкости назад (испарившийся горячий пар будет «уходить» в любом направлении, благодаря давлению). Такой механизм могут обеспечить капиллярные силы. Внутренние поверхности трубок, работающих в горизонтальной ориентации покрывают гигроскопическим материалом (органической тканью или пористой керамикой). Жидкость, сконденсировавшись на холодном конце трубки перемещается в сторону горячего конца благодаря капиллярным силам.

В качестве теплоносителя в существующих тепловых трубках используют воду с примесью аммиака и спирта (меняя их концентрации, можно менять температуру кипения жидкости в трубке), а также такие «экзотические материалы» как ртуть и индий при передачах тепла при высоких температурах.

4. Пусть есть два зацепляющихся зубчатых колеса, вообще говоря, разных радиусов. При вращении одного из них второе будет вращаться так, что линейные скорости точек колес в точке их соприкосновения будут совпадать. Поэтому колеса вращаются в разную сторону – одно по, а второе против часовой стрелки. Если есть третье зубчатое колесо, связанное с одним из первых двух, то оно будет вращаться в противоположном направлении по сравнению с тем колесом, с которым оно сцеплено и линейная скорость его поверхности будет такая же, как у первых двух. И так далее. Чтобы система колес, связанных друг с другом «по кругу» могла вращаться, нужно, чтобы первое и последнее колесо вращались в разных направлениях, и линейные скорости точек поверхности совпадали. Второе условие выполнено всегда независимо от размера колес, первое же условие выполнено только если число колес «в круге» - четное. Поскольку у нас оно нечетное, такая система колес вращаться не может.

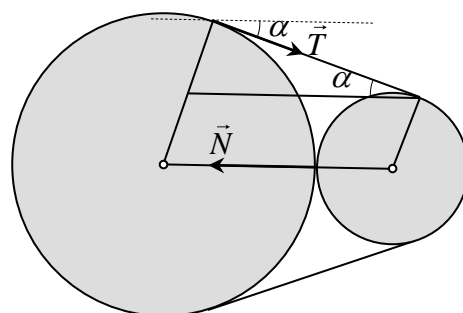
5. Очевидно, что данная цепь симметрична относительно вертикальной плоскости, проходящей посередине между клеммами цепи (ABC, см. левый рисунок). Поэтому по проводам, лежащим в этой плоскости (BC и AB) ток течь не может. Поэтому эти провода можно удалить из цепи без перераспределения тока в других проводах (и, следовательно, без изменения ее сопротивления).



После удаления этих проводов (см. рисунок посередине) цепь становится эквивалентной цепи, изображенной на правом рисунке (здесь r - сопротивление ребра основания). Находя его, получим

$$R = \frac{7r}{10}$$

5. Пусть сила натяжения кольца равна T . Тогда условия равновесия каждого шкива дает



$$2T \cos \alpha = N$$

где N - сила реакции, действующая на один шкив со стороны другого, α - угол между участком кольца между шкивами и отрезком, соединяющем центры шкивов. Геометрически очевидно (см. рисунок), что

$$\sin \alpha = \frac{3R - R}{3R + R} = \frac{1}{2} \Rightarrow \alpha = 30^\circ.$$

Отсюда находим длину растянутого кольца, которая равна удвоенной длине участка кольца между шкивами, длине участка кольца, охватывающего большой шкив и опирающегося на угол 240° и длине участка кольца, охватывающего малый шкив и опирающегося на угол 120° . Таким образом, длина растянутого кольца есть

$$L = 3R \frac{2}{3} 2\pi + R \frac{1}{3} 2\pi + 4R\sqrt{3} = 2R \left(\frac{7\pi}{3} + 2\sqrt{3} \right)$$

Это значит, что кольцо удлинилось на величину

$$\Delta L = L - 6\pi R = 4R \left(\sqrt{3} - \frac{\pi}{3} \right)$$

и, следовательно, сила натяжения кольца есть

$$T = k\Delta L = 4kR \left(\sqrt{3} - \frac{\pi}{3} \right)$$

Отсюда находим

$$N = 2T \cos 30^\circ = \sqrt{3}T = 4kR \left(3 - \frac{\sqrt{3}\pi}{3} \right)$$

Критерии оценки работ

1. Каждая задача оценивается исходя из того максимального количества баллов, которое указано в варианте задания.
2. В зависимости от полноты решения решение каждой задачи оценивается оценкой от максимальной до нуля с шагом 0,5 балла.
3. Оценки за все задачи складываются (максимальная оценка – 12 баллов); если суммарная оценка окажется «полуцелой» – округлять до ближайшего целого числа с избытком или недостатком по усмотрению проверяющего.