

## Вечный двигатель второго рода Андреева

Андреев Юрий Петрович

Для описания и понимания принципа работы такого ВД2 достаточно знание молекулярно-кинетической теории газов, закона Паскаля и формулы  $F = PS$ . Сила равна

давлению, умноженному на площадь. Вот рисунок всего ВД2. См. рис. 1.

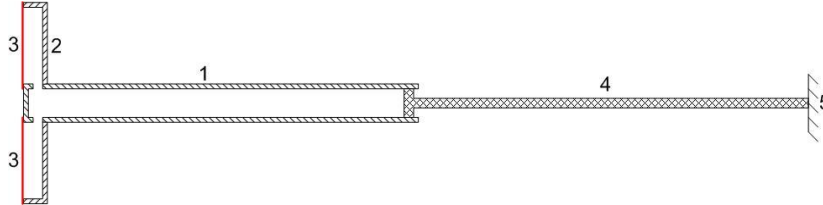


Рис. 1

1 - малый цилиндр. 2 - большой цилиндр. 3 - мембрана. 4 - поршень. 5 опора, в которой закреплён поршень. Основная и главная часть этого ВД2 - это мембрана. Мембрана должна представлять собой тонкую плёнку толщиной порядка нескольких нанометров. В этой мембране множество отверстий диаметром 1-2 нанометра. Поэтому через такие отверстия в мембране могут пролетать только одиночные молекулы. Оптимальные толщину и размер отверстий возможно установить в ходе экспериментов. Но так как все основные процессы происходят в той части, где большой цилиндр и мембрана, то будем рассматривать эту часть ВД. Справа вид со стороны мембраны. См. рис. 2.

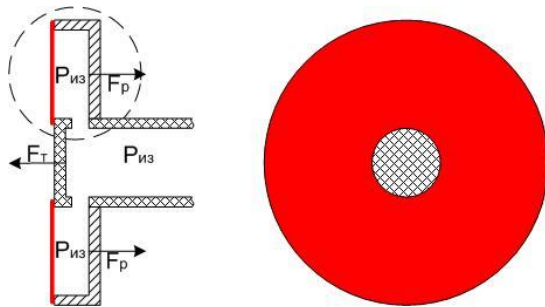


Рис. 2

Когда давления внутри и снаружи равны, то все силы компенсируются и на цилиндры не действует никакая сила. Чтобы ВД заработал, необходим толчок от внешней силы. Под действием внешней силы цилиндры смещаются вправо. Внутри малого цилиндра возникает избыточное давление  $P_{из}$ . Внутренние объёмы малого и большого цилиндров сообщаются. По закону Паскаля давление  $P_{из}$  передаётся в любую точку без изменений по всему внутреннему объёму цилиндров. Это избыточное давление вызывает силу давления на торцевую стенку малого цилиндра  $F_t = P_{из}S_t$ , где  $S_t$  - это площадь торцевой стенки малого цилиндра. На внутреннюю поверхность большого цилиндра действует сила  $F_p$ . Для лучшего понимания возникновения этой силы, рассмотрим часть большого цилиндра, выделенного штриховой линией. См. рис. 3.

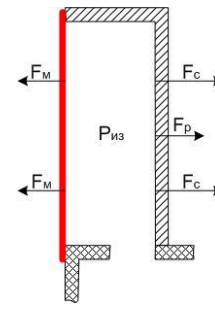


Рис. 3

Когда цилиндры под действием кратковременного толчка от внешней силы сдвинулись вправо, то в большом цилиндре также возникает избыточное давление  $P_{из}$ , так как его внутренний объём соединяется с внутренним объёмом малого цилиндра. Вследствие этого на стенку и мембрану действуют силы  $F_c$  и  $F_m$ .  $F_c = P_{из}S_c$ , где  $S_c$  - это площадь стенки. На мембрану действует сила  $F_m = P_{из}S_m$ , где  $S_m$  - это площадь непроницаемой части мембраны. Так как в мембране множество отверстий размером порядка несколько нанометров, то часть молекул попадает в отверстия и вылетает наружу. Эти молекулы не оказывают воздействие на мембрану. И за счёт этих отверстий непроницаемая часть мембраны меньше общей площади мембраны на суммарную площадь отверстий.  $S_m = S_{ом} - S_o$ , где  $S_{ом}$  - это общая площадь мембраны, а  $S_o$  - это суммарная площадь отверстий в мембране. Так как цилиндры прямые, а не конусные, то  $S_{ом} = S_c$ . То есть, общая площадь мембраны равна площади стенки. Поэтому  $S_m = S_c - S_o$ . То есть, непроницаемая часть мембраны равна площади стенки минус суммарная площадь отверстий в мембране. Отсюда  $F_m = P_{из}(S_c - S_o)$ . Площадь стенки больше площади непроницаемой части мембраны на суммарную площадь отверстий в мембране, поэтому результирующая сила  $F_p = F_c - F_m = P_{из}S_c - P_{из}(S_c - S_o) = P_{из}S_c - P_{из}S_c + P_{из}S_o = P_{из}S_o$ . Сила  $F_p$  создаётся молекулами, которые вылетают через отверстия мембраны и поэтому не оказывают давление на мембрану. Как пишет Сивухин Д.В. в «Общем курсе физики», взаимодействие молекул со стенкой можно мысленно разделить на 2 этапа. На первом этапе молекулы тормозятся, останавливаются и как бы прилипают к стенке. При этом на стенку действует сила  $F_1$ . Но втором

этапе молекулы как бы отлипают от стенки, отталкиваются стенкой, ускоряются и отскакивают от стенки, создавая силу  $F_2$ . Эта сила аналогична силе отдачи при выстреле из орудия, где роль снаряда играют вылетающие молекулы. На самом деле оба этапа происходят одновременно и сила, действующая на стенку  $F = F_1 + F_2$ . Силы  $F_1 = F_2$ . Поэтому  $F_1 = F/2$  и  $F_2 = F/2$ . Так как внутри давление выше, то изнутри через мембрану вылетает на  $N$  молекул больше, чем влетает. Вылетающие через мембрану  $N$  молекул можно представить в виде отлипающих от мембраны молекул, так как до вылета они находились внутри цилиндров и были его частью. То есть, эти молекулы создают силу  $F_2 = F/2$ . И эта сила подобна силе отдачи при выстреле из орудия. Поэтому  $F_p = P_{из} S_o / 2$ . Силы  $F_p$  и  $F_t$  противодействуют друг другу. Выясним, при каких условиях эти силы равны. ( $F_p = F_t$ ) = ( $P_{из} S_o / 2 = P_{из} S_t$ ) = ( $P_{из} S_o = 2P_{из} S_t$ ). Но так как  $P_{из}$  в обоих случаях равно, то  $S_o = 2S_t$ . То есть, если суммарная площадь отверстий в мембране будет ровно в 2 раза больше площади торцевой стенки малого цилиндра, то в этом случае  $F_p = F_t$  при любом избыточном давлении внутри. Иначе говоря, через мембрану будет вылетать в 2 раза больше молекул в единицу времени, чем ударяться в торцевую стенку малого цилиндра. Для того, чтобы цилиндры после первоначального толчка от внешней силы продолжали движение, необходимо, чтобы  $F_p > F_t$ . То есть, на цилиндры будет действовать результирующая сила  $F_{из}$ . Для этого необходимо, чтобы  $S_o > 2S_t$ . Если  $S_o > 2S_t$ , то  $F_p > F_t$  при любом избыточном давлении  $P_{из}$  внутри цилиндров. То есть, главное условие работоспособности данного ВД2 – это  $S_o > 2S_t$ . При этом сила  $F_{из}$  действует по направлению движения цилиндров. Если какая-либо внешняя сила действует постоянно и двигает цилиндры вправо, то  $F_{из}$  действует в этом же направлении и как бы усиливает внешнюю силу. Такой вот усилитель мощности.

Был рассмотрен вариант, когда давление внутри цилиндров избыточное. Теперь рассмотрим вариант, когда давление внутри меньше наружного. Это можно представить в виде избыточного давления снаружи цилиндров. В этом случае все рассуждения о внутреннем избыточном давлении можно применить к внешнему избыточному давлению. Только в этом случае силы  $F_p$  и  $F_t$  действуют на внешние поверхности стенки, мембраны. Поэтому векторы этих всех сил меняют направление на 180 градусов. См. рис. 4.

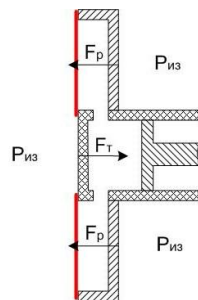


Рис. 4

Как возникает сила  $F_p$  в случае разрежения внутри цилиндров? В принципе, так же как и в случае избыточно-

го давления внутри цилиндров. Но так как в данном случае избыточное давление как бы снаружи цилиндров, то силы меняют свое направление действия на 180 градусов. См. рис 5.

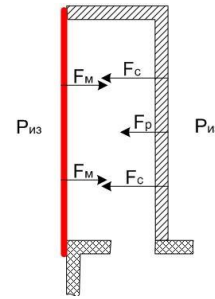


Рис. 5

Когда цилиндры под действием кратковременного толчка от внешней силы сдвинулись влево, то в большом цилиндре также возникает разрежение, так как его внутренний объём соединяется с внутренним объёмом малого цилиндра. То есть, можно считать, что снаружи появилось избыточное давление  $P_{из}$ . Вследствие этого на стенку и мембрану действуют силы  $F_c$  и  $F_m$ .  $F_c = P_{из} S_c$  где  $S_c$  – это площадь стенки. На мембрану действует сила  $F_m = P_{из} S_m$  где  $S_m$  – это площадь непроницаемой части мембраны. Так как в мембране множество отверстий размером порядка несколько нанометров, то часть молекул попадает в отверстия и вылетает наружу. Эти молекулы не оказывают воздействие на мембрану. И за счёт этих отверстий непроницаемая часть мембраны меньше общей площади мембраны на суммарную площадь отверстий.  $S_m = S_{ом} - S_o$  где  $S_{ом}$  – это общая площадь мембраны, а  $S_o$  – это суммарная площадь отверстий в мембране. Так как цилиндры прямые, а не конусные, то  $S_{ом} = S_c$ . То есть, общая площадь мембраны равна площади стенки. Поэтому  $S_m = S_c - S_o$ . То есть, непроницаемая часть мембраны равна площади стенки минус суммарная площадь отверстий в мембране. Отсюда  $F_m = P_{из}(S_c - S_o)$ . Площадь стенки больше площади непроницаемой части мембраны на суммарную площадь отверстий в мембране, поэтому результирующая сила  $F_p = F_c - F_m = P_{из} S_c - P_{из}(S_c - S_o) = P_{из} S_c - P_{из} S_c + P_{из} S_o = P_{из} S_o$ . Сила  $F_p$  создаётся за счёт того, что молекулы, которые влетают через отверстия мембраны можно считать как бы прилипшими к мембране. Как пишет Сивухин Д.В. в «Общем курсе физики», взаимодействие молекул со стенкой можно мысленно разделить на 2 этапа. На первом этапе молекулы тормозятся, останавливаются и как бы прилипают к стенке. При этом на стенку действует сила  $F_1$ . Но во втором этапе молекулы как бы отлипают от стенки, отталкиваются стенкой, ускоряются и отскакивают от стенки, создавая силу  $F_2$ . Эта сила аналогична силе отдачи при выстреле из орудия, где роль снаряда играют вылетающие молекулы. На самом деле оба этапа происходят одновременно и сила, действующая на стенку  $F = F_1 + F_2$ . Силы  $F_1 = F_2$ . Поэтому  $F_1 = F/2$  и  $F_2 = F/2$ . Так как снаружи давление выше, то через мембрану влетает на  $N$  молекул больше, чем вылетает. Влетающие через мембрану  $N$  молекул можно представить в виде прилипающих к мембране молекул. То есть, эти молекулы создают силу  $F_1 = F/2$ . Поэтому  $F_p = P_{из} S_o / 2$ . Силы  $F_p$  и  $F_t$

также противодействуют друг другу. Эти силы равны при тех же условиях.  $(F_p = F_r) = (P_{в}S_0/2 = P_{в}S_r) = (P_{в}S_0 = 2P_{в}S_r)$ . Но так как  $P_{в}$  в обоих случаях равно, то  $S_0 = 2S_r$ . То есть, если суммарная площадь отверстий в мембране должна быть ровно в 2 раза больше площади торцевой стенки малого цилиндра, то в этом случае  $F_p = F_r$  при любом разрезении внутри. Для того, чтобы цилиндры после первоначального толчка от внешней силы продолжали движение, необходимо, чтобы  $F_p > F_r$ . То есть, на цилиндры будет действовать результирующая сила  $F_{ц} = F_p - F_r$ . Для этого необходимо, чтобы  $S_0 > 2S_r$ . Если  $S_0 > 2S_r$ , то  $F_p > F_r$  при любом как бы избыточном давлении  $P_{в}$  снаружи ци-

линдров. То есть, главное условие работоспособности данного ВД2 – это  $S_0 > 2S_r$ . При этом сила  $F_{ц}$  действует также по направлению движения цилиндров. И также, как и в предыдущем случае, усиливает внешнюю силу.

Суммарная площадь отверстий в мембране зависит от количества отверстий на единицу площади мембраны и от общей площади мембраны. Комбинируя эти два способа, можно подобрать такую мембрану, что будет выполняться главное условие работы такого ВД2. То есть, должно выполняться условие  $S_0 > 2S_r$ . Один из вариантов такого ВД2. См. рис. 6.

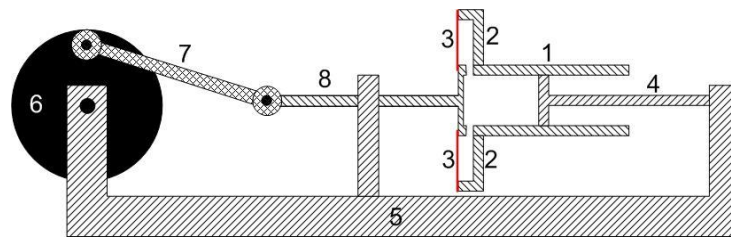


Рис. 6

1 - малый цилиндр. 2 - большой цилиндр. 3 - мембрана. 4 - поршень. 5 - опора-станина. 6 - маховик. 7 - шатун. 8 - тяга, соединяющая торец малого цилиндра с шатуном. Для запуска ВД2 в работу необходимо за счёт внешней силы крутить маховик в любую сторону. Пусть первоначальное положение ВД таково, что цилиндры находятся в правой «мёртвой» точке. При вращении маховика в любую сторону цилиндры будут перемещаться влево. При этом внутри цилиндров будет создаваться разрежение. На цилиндры будет действовать  $F_{в}$ , направленная по ходу движения цилиндров. Эта сила будет двигать цилиндры, поддерживая внутри разрежение. Таким образом цилин-

дры доходят до левой «мёртвой» точки. Цилиндры за счёт запасённой в маховике энергии получают толчок вправо и начинают двигаться вправо. В этом случае внутри создаётся избыточное давление. Вектор силы  $F_{ц}$  меняет направление и снова направлен по ходу движения цилиндров. Сила  $F_{ц}$  двигает цилиндры вправо, поддерживая внутри цилиндров избыточное давление. Таким образом ВД будет крутиться бесконечно долго, пока не сломается какая-нибудь деталь механизма. Для увеличения мощности такого ВД2 можно использовать двоянный ВД2. По габаритам ВД2 останется без изменений, а мощность увеличится в 2 раза. См. рис. 7.

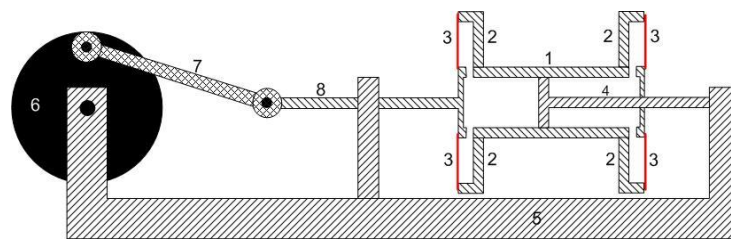


Рис. 7

К малому цилиндру добавляется ещё один большой цилиндр с мембраной. Поэтому при движении цилиндров в одной половине происходит рабочий ход за счёт вылетающих молекул. В другой половине рабочий ход происходит за счёт влетающих молекул.

ВД2 Андреева – это аналог двигателя Стирлинга. Представим вот такой двигатель внешнего сгорания. Для простоты в нём нет регенератора и некоторых других деталей. См. рис. 8.

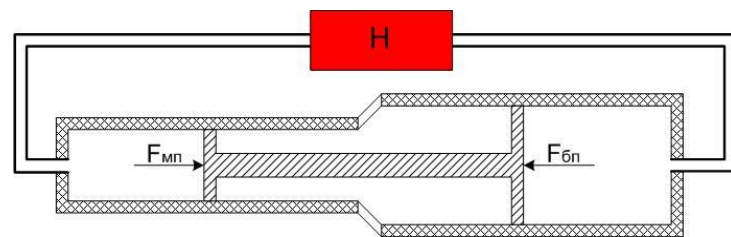


Рис. 8

Первоначально давление внутри и снаружи равны. Все силы компенсированы. Нагреваем нагреватель Н. Газ внутри нагревается и давление внутри повышается. Избыточное давление внутри двигателя Стирлинга одинаково для обоих цилиндров. То есть,  $F_{мп} = P_{из} S_{мп}$  и  $F_{бп} = P_{из} S_{бп}$ . Где мп и бп – это малый поршень и большой поршень. Так как  $F_{бп} > F_{мп}$ , то поршень двигается влево. Вытесняемый из малого цилиндра газ нагревается в нагревателе Н, расширяется и компенсирует увеличение объёма в большом цилиндре. Соответственно, двигатель Стирлинга может работать, если  $F_{бп} > F_{мп}$ . Или  $S_{бп} > S_{мп}$ . В принципе, все одинаково, как в предложенном мною ВД. Сила давления на торец малого цилиндра  $F_T$  – это аналог силы давления  $F_{мп}$  на малый поршень, а  $F_p$  – это аналог силы давления  $F_{бп}$  на большой поршень.  $S_{бп}$  – это  $S_o$ , а  $S_{мп}$  это  $S_T$ .

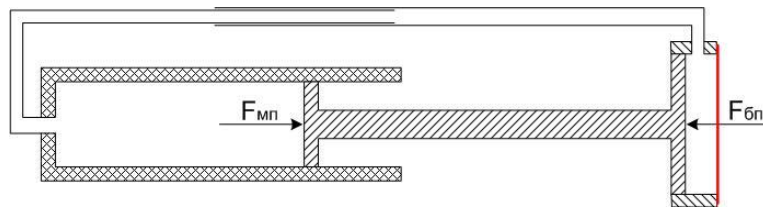


Рис. 9

Убирается нагреватель и большой цилиндр. На большом поршне сделана полость с мембраной. Внутренние объёмы соединяются трубками, которые могут перемещаться относительно друг друга. Пока поршень неподвижен, то давление внутри и снаружи равны. Все силы компенсируются. Когда поршень сдвигаем влево, то внутри возникает избыточное давление. На малый поршень действует сила давления  $F_{мп}$ . На большой поршень действует сила от вылетающих молекул  $F_{бп}$ . Также как и в моём двигателе, условие работы такого двигателя  $S_o > 2S_{мп}$ , где  $S_o$  – суммарная площадь отверстий в мембране, а  $S_{мп}$  – площадь малого поршня. При движении поршня происходит уменьшение суммарного внутреннего объёма. Соответственно, нет необходимости подогревать внутренний газ. Поэтому такой ВД2 работает без источника внешнего тепла. Оба этих двигателя работают за счёт тепла. Только двигатель Стирлинга за счёт тепла внешнего источника, а ВД2, предложенный мною, за счёт тепла окружающей среды.

Но за счёт какой энергии работает ВД? Рассмотрим это на примере движения цилиндров, когда они движется влево. То есть, когда при движении внутри цилиндров создаётся разрежение. На внешнюю стенку большого цилиндра действует результирующая сила давления  $F_{из} = F_p - F_T$  и двигает цилиндра влево. Так как цилиндры движутся с некоторой скоростью, то скорость ударяющихся и отскакивающих в эту стенку внешних молекул уменьшается. Как уменьшается скорость молекул при расширении газа в цилиндре, когда молекулы газа толкают поршень. Только в данном случае вместо поршня внешняя стенка большого цилиндра. Но можно возразить, что в движущуюся мембрану также ударяются молекулы и скорость этих молекул возрастает. Но в мембрану ударяется меньше молекул, чем во внешнюю стенку большого цилиндра, так как  $N$  молекул попадает в отверстия и влетает внутрь цилиндра. Во внешнюю стенку большого цилиндра ударяет-

Есть только одно отличие. В рабочем цикле такого двигателя Стирлинга при движении поршней происходит увеличение суммарного объёма обоих цилиндров. Для компенсации этого увеличения объёма приходится подогревать газ, который вытесняется из малого цилиндра в большой. Газ при нагреве расширяется и компенсирует увеличение объёма в большом цилиндре и этим поддерживает избыточное давление внутри цилиндров. В предложенном мною ВД2 при рабочем цикле происходит уменьшение суммарного внутреннего объёма цилиндров. Поэтому подогревать газ от внешнего источника тепла нет необходимости. Если немного видоизменить вышеописанный двигатель на рис. 13, то он превратится в мой ВД2. См. рис. 9.

ся на  $N$  молекул больше. Скорость  $N$  молекул уменьшается. Соответственно, уменьшается кинетическая энергия этих  $N$  молекул  $mv^2/2$ . А вместе с ней уменьшается и температура внешнего газа у внешней стенки большого цилиндра. То есть, такой ВД2 работает за счёт тепла окружающей среды.

Каков термодинамический цикл такого ВД2? Вот термодинамический цикл, по которому работает ВД, в координатах  $P$  – давление и  $V$  – объём. См. рис. 10.

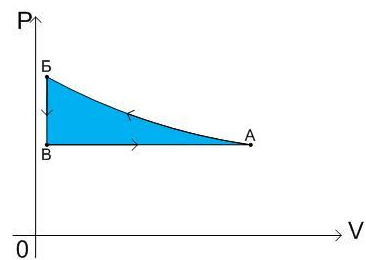


Рис. 10

На ВД добавлены 2 клапана. Первоначальное положение точка А. Цилиндры максимально сдвинуты влево. См. рис. 11.

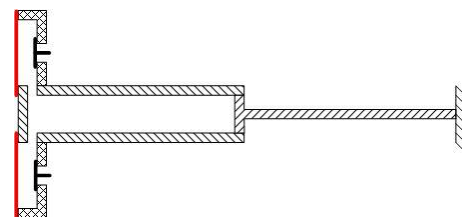


Рис. 11

После первоначального толчка от внешней силы, цилиндры перемещаются с ускорением вправо под действи-

ем постоянно действующей силы, создаваемой вылетающими молекулами. Давление внутри увеличивается, а объём уменьшается. Это рабочий ход, во время которого совершается работа. В это время выходящий через мембрану газ охлаждается. Работа совершается за счёт внутренней энергии газа. Кривая АБ. Цилиндры доходят до крайней правой точки. См. рис. 12.

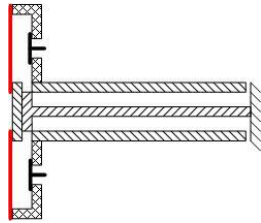


Рис. 12

Цилиндры дошли до упора. Внутренний объём больше не изменяется. Остатки газа выходят через мембрану наружу и внутреннее давление сравнивается с внешним. Прямая БВ. Затем под действием запасённой энергии, например в маховике, как у ДВС, цилиндры перемещаются влево. Это холостой ход, как у ДВС, когда он вытесняет сгоревшие газы из цилиндра. См. рис. 13.

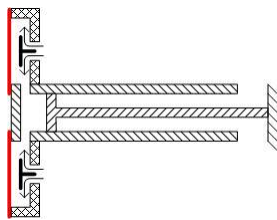


Рис. 13

При этом открываются клапаны и наружный газ поступает внутрь цилиндров. Внутреннее давление в это время равно наружному, так как клапаны позволяют свободно поступать наружному газу внутрь. Внутрь поступает тёплый наружный газ вместо вытеснённого во время рабочего хода. Цилиндры дошли до крайней левой точки. Прямая ВА. Цикл завершился и система вернулась в первоначальное положение. Внутри газ, имеющий такую же температуру, как до начала цикла. Далее под действием запасённой энергии, цилиндры получают толчок влево и циклы могут продолжаться бесконечно долго, пока не используют всё тепло окружающей среды.

Но так как такой двигатель может работать и когда внутреннее давление меньше наружного, то возможен и такой цикл. См. рис. 14.

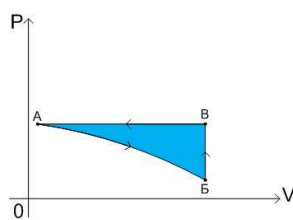


Рис. 14

Первоначальное положение — цилиндры сдвинуты вправо до крайней точки и клапаны находятся на наружной части стенки. См. рис 15.

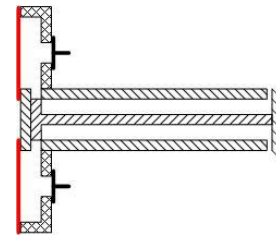


Рис. 15

При первоначальном толчке влево, внутри создаётся разрежение. Этот процесс я уже описывал, поэтому повторяться не буду. Цилиндры под действием внешнего давления двигаются влево, совершая работу. Это рабочий ход, когда совершается работа. Рабочий ход совершается за счёт ударов внешних молекул. То есть, внешний газ вблизи наружной стенки с клапанами охлаждается. Кривая АБ. Цилиндры доходят до крайней левой точки и останавливаются. Внутреннее давление сравнивается с наружным. Прямая БВ. При обратном ходе клапаны открываются и газ изнутри свободно выходит наружу. Цилиндры доходит до правой крайней точки. Прямая ВА. Цикл завершился. Чтобы избавиться от холостого хода цилиндров ВА в обоих циклах, эти циклы можно объединить в один. См. рис. 16.

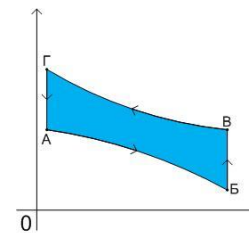


Рис. 16

У двигателя в этом случае убираются клапаны и он принимает первоначальный вид. Это первоначальное положение. См. рис. 17.

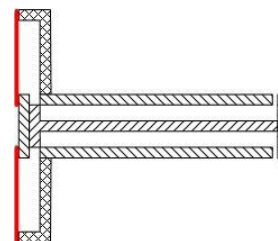


Рис. 17

При движении цилиндров влево происходит рабочий ход, при котором совершается работа за счёт окружающего газа вблизи наружной поверхности стенки большого цилиндра. Кривая АБ. Так цилиндры доходят до левой крайней точки и останавливаются. Происходит выравнивание давлений. Прямая БВ. Затем цилиндры движутся вправо, совершая второй рабочий ход уже за счёт молекул внутреннего газа. Кривая ВГ. Когда цилиндр доходит до правой крайней точки и останавливается, то давления сно-

ва выравниваются. Прямая ГА. Цикл завершился. При каждом движении цилиндров совершалась полезная работа. То есть, за цикл совершались два рабочих хода с выполнением полезной работы.

Главная и основная деталь такого ВД2 - это мембрана. Силу  $F_T$  создают удары множества молекул в торец малого цилиндра. При ударе каждой молекулы на торец действует изменение импульса  $2mv$ . Силу  $F_p$  также создают множество вылетающих молекул. При вылете каждой молекулы на большой цилиндр действует изменение импульса  $mv$ . То есть, механизм создания этих сил, в принципе, одинаков. Только изменение импульса от вылетающих молекул в 2 раза меньше. Поэтому, когда  $F_p = F_T$ , то  $S_0 = 2S_T$ . То есть, вылетать через мембрану должно в 2 раза

больше молекул в единицу времени, чем ударяется в торец малого цилиндра. Если увеличить диаметр отверстий до такого размера, что через них будет выходить поток молекул, то в этом случае механизм создания силы  $F_p$  будет другим и ВД2 работать не будет. Поэтому отверстия должны быть меньше длины свободного пробега молекул. В идеале - немного больше размеров молекул газа. Это примерно как с осмосом. Пока через отверстия могут проходить молекулы обоих веществ, то осмотического давления нет. Как только размеры уменьшаются до такого размера, что молекулы одного вещества уже не могут проникать через поры, то возникает осмотическое давление. Размеры отверстий имеют определяющее значение. Проведём такой мысленный эксперимент с данным ВД2. См. рис. 18.

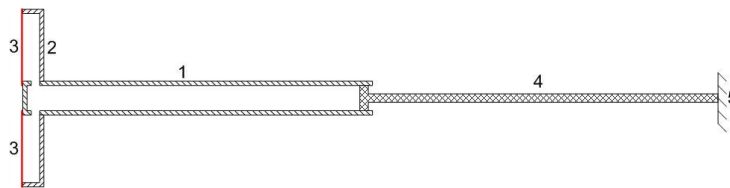


Рис. 18

Цилиндры будут смещаться вправо до упора в течении 1 секунды. То есть, все внутренние молекулы будут вылетать через мембрану за 1 секунду. Совершим несколько таких процессов. Но с каждым повторением будем увеличивать количество отверстий в мембране. В результате получится примерно такой график. См. рис. 19.

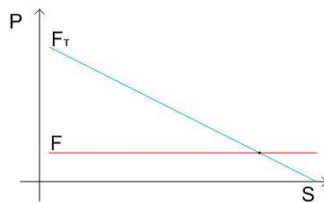


Рис. 19

$F_T$  - это сила, действующая на торец малого цилиндра.  $F$  - это сила от вылетающих внутренних молекул. Так как при каждом движении за 1 секунду вытесняется одинаковое количество молекул, то сила  $F$  одинакова при каждом вытеснении. Первое вытеснение проведём, когда суммарная площадь отверстий в мембране в несколько раз меньше площади торца малого цилиндра. Сила  $F_T$  в этом случае будет в несколько раз больше силы  $F$ . Так как с каждым последующим вытеснением количество отверстий в мембране увеличивается, то суммарная площадь отвер-

стий также увеличивается. Соответственно, внутреннее давление и сила  $F_p$ , при котором вытесняются внутренние молекулы, уменьшается. Но она пока больше силы  $F$ . Но когда суммарная площадь отверстий становится в 2 раза больше площади торца, то эти силы сравниваются.  $F = F_T$ . При дальнейшем увеличении количества отверстий уже  $F > F_T$ . Чисто теоретически, при достаточно большой площади мембраны будет действовать только сила  $F$ , так как  $F_T$  будет практически равна 0. При каких условиях  $F_T$  будет равна 0?

Если вместо мембраны установить стенку с несколькими большими отверстиями, суммарной площадью равной площади поршня, то через такие отверстия газ будет выходить свободно в виде газового потока. Внутреннее давление будет практически равным наружному. Соответственно,  $F_T$  в этом случае будет примерно равно 0. В этом потоке молекулы движутся хаотично по всем возможным траекториям. Через наноотверстия в мембране пролетают только молекулы газа, движущиеся в сторону мембраны. Если допустить, что все молекулы двигаются строго по осям координат, то таких молекул будет 1/6 часть от всех молекул. Поэтому суммарная площадь отверстий в мембране должно быть в 6 раз больше площади поршня. Площадь поршня равна площади торца малого цилиндра. Отсюда  $S_0 = 6S_T$ .

### Литература:

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т.2.