

О законе Паскаля и физике сливного бачка

А. ГИМЕЛЕВ, С. ДВОРЯНИНОВ

В НАШЕЙ ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ МЫ ПОСТОЯННО СТАЛКИВАЕМСЯ с проявлениями разнообразных физических законов. Они лежат в основе функционирования различных устройств, механизмов и машин. Со временем эти устройства совершенствуются. Вот об одном таком усовершенствовании мы и хотим сейчас рассказать. Речь пойдет о весьма прозаической конструкции, а именно о...сливном бачке, этом непримечательном атрибуте современных благоустроенных домов.

Кто и когда изобрел сливной бачок – это отдельный рассказ из истории техники. Сейчас нас интересует физическая сторона этого механизма. Ясно, что сливной бачок функционирует циклически. Пусть в начальный момент времени бачок полностью наполнен водой. По мере необходимости открывается выпускной сливной клапан, расположенный в нижней части бачка. Это делается вручную, и вода из сливного бачка выливается. Затем сливной клапан под действием силы тяжести закрывает сливное отверстие. В это время в бачок из подведенной к нему трубы начинает поступать вода, чтобы вновь наполнить бачок водой. Но не более того. Как только бачок наполнится, дальнейшее поступление воды должно быть прекращено. Это делается автоматически с помощью несложного устройства.

Устройство представляет собой Г-образный рычаг, закрепленный на горизонтальной оси и вращающийся в вертикальной плоскости (рис. 1 и 2). На одном конце рычага закреплен поплавок – пластмассовый шар диаметром 4–5 см, на другом



Рис. 1

конце – резиновый клапан. По мере поступления воды в бачок поплавок поднимается вверх и поворачивает рычаг (на рисунке 2 – против часовой стрелки). При этом резиновый клапан приближается к трубе. Когда вода достигает требуемого уровня, поплавок поднимается вверх на максимальную высоту, и клапан полностью перекрывает поступление воды в бачок. Цикл завершен. Бачок снова можно использовать по назначению.

После приведенного описания устройства возможны уже и некоторые расчеты (которые при желании вы можете проделать). Насколько длинными должны быть плечи рычага? Каким должен быть объем поплавка, чтобы действующая на него выталкивающая сила Архимеда смогла преодолеть силу давления воды на клапан, который закрывает трубу? За-

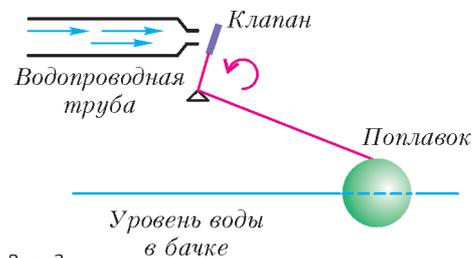


Рис. 2

тем, что давление воды в сети не маленькое. Чтобы его ощутить, попробуйте, например, чуть приоткрыть кран с холодной водой и затем остановить воду ладонью. Наверняка можно сказать, что сделать вам это не удастся. На практике плечо поплавка имеет длину 20–25 см, а длина меньшего плеча, на котором укреплен клапан, примерно 1 см. Рычаг изготавливают из бронзы, которая не поддается коррозии и не ржавеет. Вода втекает в бачок из сопла – так называют сужение трубы; его диаметр всего 2–3 мм.

Мы описали принципиальную схему автоматического регулятора, используемого в сливном бачке. Подобные механизмы реально использовались много лет во многих миллионах изготавливаемых из чугуна сливных бачков. Однако новое время – новые материалы. Дорогой чугун заменили керамикой, металлические детали – пластмассовыми, оцинкованные трубы – металлопластиковыми. Важной задачей во всех производствах стало снижение материалоемкости. Стремление к миниатюризации охватило и сантехнику. Существует крылатое выражение – нет ничего практичнее хорошей теории. Оказывается, наблюдаемый нами в настоящее время прогресс в производстве сливных бачков основан на одном из фундаментальнейших законов физики – на законе Паскаля.

Закон Паскаля звучит так: давление на поверхность жидкости, производимое внешними силами, передается жидкостью одинаково во всех направлениях. Этот закон распределения давления в жидкости установил в 1653 году французский математик, физик и философ Блез Паскаль (1623–1662). Опубликован он был в 1663 году в «Трактате о равновесии жидкостей». Полное название работы Паскаля таково: «Трактаты о равновесии жидкостей и весе массы воздуха, содержащие объяснение причин различных явлений природы, которые до сих пор не были достаточно известны и, в частности, тех, которые приписывают боязни пустоты». В этом трактате читаем: «Если сосуд, наполненный водой и закрытый со всех сторон, имеет два отверстия, одно в 100 раз больше другого, которые прикрыты точно подогнанными к ним поршнями, то один человек, надавливающий на малый поршень, уравнивает силу 100 человек, надавливающих на поршень в 100 раз больший, и преодолет силу 99. И каково бы ни было отношение этих отверстий, всегда, когда силы, приложенные к поршням, относятся друг к другу, как отверстия, силы эти будут в равновесии. ...Отсюда следует, что сосуд, наполненный водою, является новым принципом механики и новой машиной для увеличения сил в желаемой степени, потому что при помощи этого средства человек может поднять любую предложенную ему тяжесть». Совершенно ясно, что в этих словах полностью

сформулирована идея гидравлического подъемника, гидравлического пресса, гидравлического привода тормозов современного автомобиля и многих других подобных гидростатических устройств.

Приведем также несколько строк из статьи А.Штейнберга «Еще раз о законе Паскаля», опубликованной в «Кванте» №2 за 1990 год: «Рассказывая о научных достижениях Блеза Паскаля, невозможно не сказать хотя бы несколько слов об этой экстраординарной личности. В 16 лет он приобретает европейскую известность своей первой математической работой – трактатом о конических сечениях. И вообще период жизни с 12(!) до 23 лет безраздельно отдан математике, и Паскаль становится одним из признанных лидеров в этой области. Лишь после этого, вдохновленный работами итальянца Эванджеллиста Торричелли, Паскаль начинает заниматься физикой. И снова – достижения мирового уровня. В 1651 году Паскаль резко обрывает научные занятия и со свойственной ему страстностью погружается в водоворот светской жизни. Еще через три года, испытав мистическое озарение, он внезапно обращается к религии. Ей и литературным занятиям посвящается остаток жизни. В свой «физический» период Паскаль прославился остроумными опытами по гидростатике. Он в это время жил в Руане, и толпа в несколько сот горожан собиралась на его демонстрации как на праздничные представления. Вот один из самых известных опытов Паскаля, поразивший воображение жителей Руана. В тонкую длинную трубку, вставленную в закупоренную наполненную водой бочку, наливалась вода. Уровень воды в трубке повышался, и в какой-то момент крепко сколоченная бочка разрывалась. Объяснить этот «фокус» вы теперь должны без труда».

Вернемся однако к сливному бачку и его функционированию. Из вышесказанного следует, что если уменьшить диаметр трубы, подводящей воду в бачок, то можно уменьшить длину рычага и тем самым уменьшить размеры всей конструкции. Но при этом уменьшится скорость поступления воды в бачок, точнее – уменьшится объем воды, поступающей в бачок за единицу времени. По этой причине полное наполнение бачка потребует большего времени, и время цикла увеличится. Это, ясное дело, нежелательно, а иногда и просто недопустимо. Как быть? Оказывается, решение этой технической задачи существует. И оно сродни тому, как барон Мюнхгаузен сам себя вытащил из болота за волосы. Действительно, можно «заставить» воду, поступающую в бачок, саму себя перекрывать (обратная связь!).

Рассмотрим сосуд, о котором мы прочитали в выдержке из «Трактата» Паскаля и который на рисунке 3 обозначен буквой *K* (техническое его название – камера). Посредством

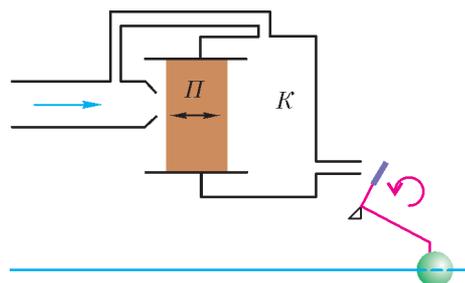


Рис. 3

тоненькой трубочки через маленькое отверстие в верхней части сосуда в него поступает вода из водопроводной сети высокого давления. Пусть поршень *P*, прикрывающий второе отверстие в этом сосуде, по площади больше (для определенности – больше в два раза) площади сечения

трубы, по которой вода поступает в бачок. Если в сосуде никаких других отверстий нет, то к поршню, прикрывающему второе отверстие в сосуде, будет приложена очень большая сила. Расположим этот сосуд так, чтобы поршень при своем движении из камеры наружу закрывал трубу, по которой вода поступает в бачок. Тогда получается, что поршень к трубе толкает сила, которая больше (в два раза) силы, отталкивающей поршень от трубы. Ясно, что в результате поршень закроет трубу, и поступление воды в бачок прекратится.

А как же сделать, чтобы вода смогла поступать в бачок, когда он опустеет? Для этого в камере делают третье отверстие, по диаметру равное первому, маленькому (на рисунке 3 оно изображено в правой стенке камеры, внизу). Через это отверстие вода из камеры льется в бачок. И вот это-то отверстие и снабжают тем элементарным клапаном-рычагом, о котором говорилось раньше. Поскольку теперь приходится перекрывать очень маленькое отверстие, то и размеры этого вспомогательного клапана-рычага могут быть малыми.

Когда бачок пуст, маленькое отверстие открыто. Вода втекает в камеру и вытекает из нее. В камере нет никакого избыточного давления, большой поршень не препятствует поступлению воды из трубы в бачок. По мере наполнения бачка водой поплавок поднимается вверх и перекрывает отток воды из камеры. Давление в камере становится равным давлению в сети, это давление перемещает большой поршень *P* к водопроводной трубе, поршень запирает трубу, и поступление воды в бачок прекращается. Если теперь бачок опустошить, то поплавок опустится вниз, давление в камере станет равным атмосферному, и вода из сети сместит большой поршень внутрь камеры. Бачок начнет наполняться водой.

Таково принципиальное устройство современных сливных бачков. Научное название подобных устройств – регулятор непрямого действия с гидроусилением. Современные технологии позволяют при этом использовать дешевые, легкие и удобные в монтаже пластмассовые детали (можно обойтись даже без гаечного ключа), а в качестве поршня выступает обычно резиновая мембрана. На фотографии на рисунке 4



Рис. 4

представлен один из вариантов такого модернизированного клапана в разобранном виде. Здесь диаметр сопла, через которое вода поступает в бачок, равен 5 мм. Сопло перекрывается резиновой мембраной, играющей роль подвижного поршня, диаметр мембраны 2 см. Камера имеет цилиндрическую форму, ее диаметр 2 см, толщина 1–2 мм. Через одно отверстие в резиновой мембране вода попадает в камеру, через другое отверстие вода из камеры льется в бачок. Эти два отверстия по размеру сравнимы с размером игольного ушка. Ясно, что перекрыть воду, поступающую из камеры в бачок через такое малое отверстие, легко – для этого используется рычаг с большим плечом длиной всего 4–5 см.

ШКОЛА В «КВАНТЕ»

Вот теперь наши читатели, знающие принципиальное устройство сливного регулятора, могут в качестве физико-технической задачи предложить своим друзьям объяснить принцип его работы. Поскольку два отверстия – вход и выход из камеры K – практически незаметны, способ функционирования может оказаться непростой и поучительной загадкой. Как говорится, и стар и млад могут поломать над ней голову. Не каждый, имея в руках этот клапан, сразу скажет, как, куда и для чего течет в нем вода... Собственно говоря, жизненная необходимость заменить такой клапан и явилась поводом для появления этого рассказа. В наше время вышедшие из строя отдельные элементы, крупные блоки и даже целые устройства обычно не ремонтируют – проще, быстрее и дешевле заменить их целиком новыми. Тем не менее, мы полагаем, что ответ на вопрос – как устроен клапан? – интересен нашим читателям. Ведь в будущем нашей стране будут нужны не только работники отверточных производств (когда что-то собирают из готовых деталей), но и творцы – создатели нового.

Перефразируя слова Маяковского, можно, пожалуй, сказать, что в наше время закон Паскаля, открытый три с половиной столетия тому назад, проявляет себя и в разнообразных мощных многотонных машинах, и в миниатюрных конструкциях

«...весомо,
грубо,
зримо,
как в наши дни
вошел водопровод,
сработанный
еще рабами Рима».

Ясное дело, что описанные здесь и представленные на рисунках регуляторы непрямого действия с гидроусилением создавались изначально отнюдь не для сливных бачков. Их предназначение было намного более серьезным! Но это – как принято говорить – уже совсем другая история.