ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ТВОРЧЕСКИХ РАБОТ МОЛОДЁЖИ

«МЕНЯ ОЦЕНЯТ В XXI ВЕКЕ»

Направление: физика

Тема: Портативный поршневой насос: физика движения жидкости

Соискатель: Выборнова Юлия Павловна

Научный руководитель: Паньшина Татьяна Михайловна

Место выполнения работы: МАОУ СОШ №2, г. Кировград

2026

Оглавление

Введение 3
История возникновения и развития жидкостного насоса 4
Физические принципы работы поршневого жидкостного насоса 7
Применение поршневых насосов 8
Практическая часть 10
Заключение 12
Список литературы и источников 13

Введение

В современном мире, где технологии развиваются стремительными темпами, мы часто забываем о фундаментальных изобретениях, лежащих в основе нашей цивилизации. Одним из таких устройств является поршневой жидкостный насос. Ежедневно миллионы людей пользуются благами, которые стали возможны благодаря этому механизму: от подачи воды в водопроводных системах городов и дачных поселков до работы тормозных систем автомобилей, гидравлических домкратов и опрыскивателей в сельском хозяйстве.

Понимание принципов работы насоса позволяет не только осознанно использовать бытовую технику, но и закладывает основу для изучения более сложных гидравлических и пневматических систем, а также тепловых двигателей. Кроме того, в условиях автономного проживания или чрезвычайных ситуаций умение спроектировать или отремонтировать простой насос становится жизненно важным навыком.

Проблема исследования заключается в необходимости наглядной демонстрации связи между абстрактными законами физики (в частности, атмосферным давлением, законом Паскаля и свойствами газов) и их практическим применением в технике. Школьные лабораторные опыты часто показывают лишь отдельные явления, тогда как работающий насос объединяет их в единую, логичную и полезную систему.

Цель проекта: разработать и собрать прототип ручного насоса, демонстрирующий основы Архимедовых принципов, гидродинамики и механики вязких жидкостей

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Изучить историю создания и эволюцию поршневых насосов, от древнегреческих конструкций Ктесибия до современных промышленных агрегатов.
2. Проанализировать устройство типичного поршневого насоса и назначение его основных узлов: цилиндра, поршня, штока, кривошипно-шатунного механизма и, главное, всасывающего и нагнетательного клапанов.
3. Описать физические принципы, обеспечивающие его работу: роль атмосферного давления при всасывании, инерцию столба жидкости и разность давлений.
4. Разработать чертеж и собрать действующую лабораторную модель насоса.

Объект исследования: процесс перекачивания жидкости с помощью механического воздействия.

Предмет исследования: устройство, принцип действия и физические закономерности работы поршневого жидкостного насоса.

Гипотеза исследования: эффективность работы поршневого насоса напрямую зависит от герметичности его клапанов, площади поршня и амплитуды его хода, а создаваемый напор ограничен атмосферным давлением.

История возникновения и развития жидкостного насоса

История создания устройств для перекачивания жидкостей неразрывно связана с развитием человеческой цивилизации. Потребность в орошении полей, водоснабжении растущих городов и осушении шахт заставляла инженеров и ученых на протяжении тысячелетий искать способы перемещения воды против силы тяжести.

1.1. Древний мир: от принципа сифона к первому механизму

Первые попытки механизировать подъем воды относятся к эпохе Древнего Египта и Месопотамии (около 2000 г. до н. э.). Однако эти устройства — шадуфы (рычаги с противовесом) и черпальные колеса (сакие) — были скорее механическими подъемниками, чем насосами в современном понимании, так как не создавали разрежения или давления внутри замкнутой системы.

Настоящим прорывом стало изобретение, приписываемое великому механику Ктесибию, жившему в Александрии в III веке до н. э. Он создал первый в истории двухцилиндровый поршневой насос с принудительными клапанами. Устройство Ктесибия состояло из двух бронзовых цилиндров, поршни которых были соединены общим рычагом. При движении рычага в одну сторону один поршень засасывал воду через открывшийся нижний клапан, а другой — выталкивал ее через боковой нагнетательный клапан в трубу. При движении в обратную сторону роли цилиндров менялись. Именно Ктесибий впервые четко осознал и применил на практике роль клапанов, которые работают автоматически, пропуская жидкость только в одном направлении. Его насос использовался для подачи воды в пожарные помпы и создания струй в водяных органах (гидравлосах).

Позже, в I веке до н. э., Герон Александрийский в своем труде «Пневматика» подробно описал конструкцию пожарного насоса Ктесибия, добавив к ней поворотную трубку-сопло, что позволяло направлять струю воды в любую сторону. Римский инженер Витрувий в своем трактате «Об архитектуре» также оставил детальные описания поршневых насосов для подъема воды из глубоких колодцев.

1.2. Средние века и эпоха Возрождения: осушение шахт

После падения Римской империи многие античные технологии в Европе были утрачены. Интерес к поршневым насосам возродился лишь в XV–XVI веках, и главной движущей силой стала не война или градостроительство, а горное дело. При добыче руды в шахтах Германии, Венгрии и Чехии стремилась вода, и традиционные водоподъемные колеса уже не справлялись с глубиной.

Ключевую роль в этом процессе сыграл великий художник и инженер эпохи Возрождения Агрикола (Георг Бауэр). В своем фундаментальном труде «О горном деле и металлургии» (1556 год) он систематизировал и проиллюстрировал множество конструкций насосов. Агрикола описал многоступенчатые поршневые установки, где вода последовательно поднималась из одного резервуара в другой, что позволяло откачивать ее с огромных глубин. Важным нововведением того времени стало использование кожаных манжет и уплотнителей на поршнях, что позволило значительно повысить герметичность и, как следствие, эффективность подъема воды.

1.3. XVII–XVIII века: научный фундамент

В 1641 году великий итальянский физик Эванджелиста Торричелли, проводя свои знаменитые опыты с ртутью, теоретически обосновал предел высоты всасывания воды. Он доказал, что насос не «тянет» воду за собой, а лишь создает разрежение, в которое вталкивается столб воды под давлением атмосферы. Так был установлен теоретический предел: при

нормальном атмосферном давлении вода не может подняться по трубе выше 10,3 метра. Это открытие объяснило, почему старые шахтные насосы переставали работать на большой глубине, и положило начало гидростатике как науке.

В 1650 году немецкий физик Отто фон Герике изобрел воздушный насос, а в 1654 году провел свой знаменитый эксперимент с магдебургскими полушариями, наглядно продемонстрировав силу атмосферного давления — ту самую силу, которая заставляет работать любой всасывающий поршневой насос.

1.4. Промышленная революция: металл и пар

В XVIII веке, с началом промышленного переворота, требования к насосам резко возросли. Для откачки воды из глубоких угольных шахт Англии деревянные конструкции уже не подходили. В 1698 году английский военный инженер Томас Севери запатентовал первый «огневой» (паровой) насос, который использовал давление пара для прямого вытеснения воды из сосуда. Хотя машина Севери была неэффективной и опасной (ее котлы часто взрывались), она стала первым шагом к отказу от мускульной силы.

Настоящую революцию совершил Томас Ньюкомен, который в 1712 году создал атмосферную паровую машину. В его установке поршень непосредственно приводил в действие штанги традиционного поршневого насоса. Это позволило эффективно осушать шахты на глубинах свыше 100 метров. Позже, в конце XVIII века, Джеймс Уатт усовершенствовал паровую машину, добавив конденсатор и центробежный регулятор, что сделало приводы насосов более мощными и экономичными. Параллельно шло развитие материалов: на смену дереву и коже пришли чугун, бронза и, в конечном итоге, сталь, а кожаные уплотнители были заменены на резиновые и кожемитовые манжеты.

1.5. XIX–XX века: стандартизация и новые сферы применения

В XIX веке поршневые насосы стали неотъемлемой частью городской инфраструктуры. С развитием водопровода и канализации именно поршневые паровые насосы (например, насосы Вортингтона) начали качать воду в водонапорные башни городов.

С появлением электрических двигателей в конце XIX века паровые машины начали уступать место электромоторам. В 1851 году Джордж Блэйдс изобрел первый плунжерный насос высокого давления, что открыло дорогу для гидравлических систем. В 1893 году Рейнхольд Плацман запатентовал аксиально-поршневой насос, который позволил создавать компактные и мощные гидравлические приводы. Поршневые насосы стали сердцем тормозных систем поездов, гидравлических прессов на заводах и судовых механизмов. В России в начале XX века инженер Владимир Шухов применял передовые насосные технологии при строительстве первых российских нефтепроводов.

1.6. Современность

В XX и XXI веках поршневой насос не был вытеснен центробежными машинами, как можно было ожидать. Напротив, он занял свою незаменимую нишу. Современные аксиально-поршневые и радиально-поршневые насосы способны создавать колоссальное давление (до нескольких тысяч атмосфер) при высокой точности дозирования. Сегодня они применяются:

- в гидравлических приводах строительной и авиационной техники (экскаваторы, краны, шасси самолетов);
- в топливных системах высокого давления дизельных двигателей (системы Common Rail);
- в медицине (шприцевые дозаторы, аппараты для гемодиализа);
- в химической промышленности для работы с агрессивными и вязкими жидкостями, где требуется герметичность и точное соблюдение объема.

Пройдя путь от бронзового цилиндра Ктесибия до высокоточных гидравлических приводов из легированной стали, поршневой насос доказал свою фундаментальную эффективность. Его базовая кинематическая схема остается неизменной уже более двух тысяч лет, что подтверждает оптимальность этого технического решения для преобразования механической энергии в энергию давления жидкости. Для нашего проекта эта история важна тем, что она показывает: создавая простую модель из подручных материалов, мы воссоздаем устройство, изменившее ход истории человечества.

Физические принципы работы поршневого жидкостного насоса

Действие поршневого насоса основано на простом, но фундаментальном физическом принципе: жидкость перемещается из области высокого давления в область низкого давления. Сам механизм не «всасывает» воду в привычном смысле — он лишь создает условия, при которых внешнее атмосферное давление направляет жидкость внутрь системы.

Для понимания физики процесса рассмотрим одноцилиндровый насос, состоящий из:

- **Цилиндра** — герметичной камеры, в которой движется поршень.
- **Поршня** — плотно подогнанной детали, разделяющей объем цилиндра.
- **Всасывающего клапана** — устройства (например, шарика, перекрывающего отверстие снизу), которое открывается только внутрь цилиндра.
- **Нагнетательного клапана** — устройства в верхней части, которое открывается только наружу, в напорную трубу.
- **Штока и привода** — механизма, передающего поршню возвратно-поступательное движение.

Такт всасывания (ход поршня вверх)

1. При подъеме поршня объем пространства внутри цилиндра увеличивается.
2. При быстром увеличении объема, давление оставшегося в цилиндре воздуха резко падает, создавая разрежение (вакуум). Давление внутри становится значительно меньше атмосферного давления.
3. Под действием разности давлений всасывающий клапан открывается, и атмосферное давление направляет воду из резервуара по всасывающему шлангу в цилиндр.
4. Нагнетательный клапан в этот момент плотно прижат к седлу давлением столба жидкости, уже находящегося в напорной трубе, и собственным весом, не давая воде стечь обратно. *Важное физическое ограничение:* высота, на которую поршневой насос может поднять воду за счет атмосферного давления, теоретически не превышает 10,3 метра (при нормальном давлении 760 мм рт. ст.). Это высота столба воды, который уравновешивает атмосферное давление. На практике из-за потерь на трение и неполного вакуума этот предел составляет 7–8 метров.

Такт нагнетания (ход поршня вниз)

1. Поршень начинает двигаться вниз. Объем внутри цилиндра уменьшается, а давление жидкости в нем резко возрастает.
2. Разница давлений мгновенно закрывает всасывающий клапан. Вода не может уйти обратно в колодец.
3. Когда давление внутри цилиндра превышает давление столба воды в напорном трубопроводе, открывается нагнетательный клапан.
4. Поршень, подобно штоку медицинского шприца, выталкивает порцию жидкости в трубу.

2.4. Роль инерции и непрерывность струи

В простейшем одноцилиндровом насосе с ручным приводом вода выходит не сплошным потоком, а порциями — только в момент хода поршня вниз. Во время хода вверх поток прерывается. Для получения непрерывной струи в технике применяются два решения:

- **Два цилиндра**, работающих в противофазе (когда один засасывает, другой нагнетает).
- **Воздушный колпак (ресивер)** — герметичная емкость, врезанная в напорную магистраль. При ходе поршня избыток воды сжимает в колпаке воздушную подушку. Когда поршень идет вверх и подача прекращается, сжатый воздух, работая как пружина, продолжает расширяться и равномерно выдавливать воду в трубу. Это сглаживает пульсации.

Применение поршневых насосов

Несмотря на то что в системах водоснабжения крупных городов поршневые насосы в основном вытеснены более производительными центробежными, в областях, где требуется высокое давление, точное дозирование или работа с вязкими средами, они остаются незаменимыми.

Гидравлические системы (объемный гидропривод) - это главная сфера применения современных поршневых насосов. В отличие от шестеренных, поршневые насосы способны создавать давление до 400–700 атмосфер.

- **Строительная и дорожная техника:** экскаваторы, бульдозеры, автокраны. Поршневые насосы приводят в движение гидроцилиндры стрелы, ковша и опор. Здесь важна не столько скорость потока, сколько колоссальное усилие, которое можно развить при компактных размерах привода.
- **Авиация:** шасси (выпуск и уборка), закрылки, тормозные системы колес.
- **Металлообрабатывающие станки:** гидравлические прессы для штамповки металла.

Топливные системы двигателей внутреннего сгорания В современных дизельных двигателях (система Common Rail) используются радиально-поршневые или аксиально-плунжерные насосы высокого давления (ТНВД). Они создают давление до 2500 атмосфер, необходимое для сверхмелкого распыления топлива. Это обеспечивает максимально полное сгорание солярки, повышая мощность двигателя и снижая токсичность выхлопа.

Медицина и лабораторное оборудование

- **Шприцы:** самый простой и знакомый каждому пример поршневого насоса одноразового действия.
- **Инфузионные насосы (перфузоры):** устройства для точного, капельного введения лекарств в кровь, где критична погрешность в доли миллилитра.
- **Аппараты гемодиализа («искусственная почка»):** перекачивают кровь пациента через фильтры, создавая строго контролируемое трансмембранное давление.
- **Лабораторные хроматографы:** поршневые насосы обеспечивают абсолютно стабильный поток элюента для разделения химических смесей.

Химическая промышленность и дозирование Поршневые (плунжерные) насосы-дозаторы используются для перекачки агрессивных, токсичных, абразивных и высоковязких жидкостей (кислот, щелочей, полимерных смол, нефти-сырца). Главное преимущество здесь — принцип прямого вытеснения: за один ход поршень выталкивает строго фиксированный объем жидкости, независимо от ее плотности и вязкости, что невозможно обеспечить центробежным насосом.

Бытовое и коммунальное применение

- **Водоснабжение частных домов:** глубинные штанговые поршневые насосы используются в узких абиссинских скважинах и колодцах глубиной до 8–10 метров, где невозможно установить погружной центробежный насос.
- **Ручные опрыскиватели:** для сада и огорода, где требуется создать направленный поток или мелкодисперсный туман.
- **Велосипедные и автомобильные насосы:** одноходовые или двухходовые поршневые насосы для создания высокого давления в шинах.
- **Пенные огнетушители:** нажатие на ручку приводит в действие встроенный поршень, который смешивает воду с пенообразователем и выталкивает струю под давлением.

Специализированные области

- **Добыча нефти:** станки-качалки на поверхности приводят в действие длинные штанги, соединенные с поршнем (плунжером) на дне скважины, выкачивая нефть, когда пластового давления уже недостаточно.
- **Криогенная техника:** поршневые насосы используются для перекачки сжиженных газов (кислорода, азота), где важна герметичность и отсутствие смазки, способной замерзнуть.

Практическая часть

Этап 1. Подготовка и комплектация

- Лазерная резка деталей из фанеры (основание, боковые стойки, цилиндр, поршень, рукоятка-кривошип).
- Круглый деревянный стержень для оси.
- Силиконовый прозрачный шланг (имитирует всасывающую и напорную трубу).
- Два шарика из легкой резины (выполняют роль клапанов).
- Небольшой тюбик нетоксичного клея для дерева.

Этап 2. Сборка корпуса и цилиндра

Сначала мы собрали несущую раму. На деревянное основание установили две вертикальные стойки. Самое важное на этом этапе — центровка. Мы вставили в пазы стоек короткий деревянный цилиндр. Чтобы обеспечить герметичность и минимальный коэффициент трения, мы натерли внутренние стенки цилиндра обычным восковым карандашом, который нашелся в пенале. Затем в нижнее отверстие цилиндра плотно, «внатяг», вставили один из силиконовых шлангов.

Этап 3. Изготовление и установка клапанов

1. **Всасывающий клапан:** мы взяли первый шарик и уложили его в специальное углубление в деревянном основании прямо под входным отверстием цилиндра. Вода должна поднимать его, но не должна опускать. Чтобы он не залипал, мы слегка приплюснули его пинцетом.
2. **Нагнетательный клапан:** со вторым шариком пришлось повозиться. Его нужно было установить внутри цилиндра, над выходным отверстием. Мы закрепили его в крошечной деревянной корзинке-держателе и вклеили эту конструкцию в верхнюю часть поршня. *Важное наблюдение:* если бы мы перепутали шарики местами или установили их неровно, насос просто качал бы воздух внутри себя, не создавая разрежения.

Этап 4. Сборка поршневого механизма

Мы собрали поршень из двух фанерных дисков и короткой втулки. В паз между дисками на клей зафиксировали держатель с верхним (нагнетательным) клапаном. Затем вставили поршень в цилиндр. Движения должны быть плавными, без перекосов. Сверху в поршень вставили металлический штифт, на который надели деревянную рукоятку. Рукоятку соединили с шатуном, а шатун — с основным поворотным рычагом (кривошипом), который установили на ось в боковых стойках.

Этап 5. Подключение гидравлики

Второй конец нижнего шланга мы опустили в банку с водой. На выходной патрубок (из которого вода должна бить струей) мы надели второй отрезок шланга и вывели его в пустую пластиковую емкость, чтобы не залить стол.

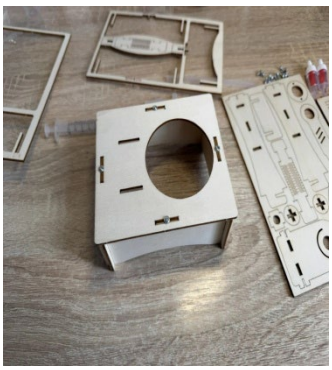
Этап 6. Пусконаладочные работы и первые испытания

Первый цикл хода рукоятки вниз показал нашу ошибку: поршень шел слишком туго, и рукоятку слегка перекашивало. Мы сняли поршень, убрали лишний клей, который вытек из стыков, и еще раз смазали цилиндр воском. Второй запуск прошел успешно.

- **Такт всасывания:** когда мы потянули рукоятку на себя (поршень пошел вверх), мы услышали тихое бульканье. Вода из банки начала подниматься по нижнему шлангу, приподняв всасывающий шарик. Нагнетательный клапан внутри цилиндра в это время был плотно прижат давлением воздуха.

- **Такт нагнетания:** когда мы нажали на рукоятку (поршень пошел вниз), всасывающий клапан мгновенно захлопнулся под тяжестью столба воды. Давление внутри цилиндра резко возросло, выталкивая нагнетательный клапан вверх. Вода с силой ударила в силиконовый шланг и начала поступать в приемную емкость.

Вывод по практической части: собранная модель полностью работоспособна. В ходе сборки мы поняли, что самая сложная деталь в насосе — это не поршень и не рычаг, а примитивный на первый взгляд шарик-клапан. Именно от его свободного хода и точности посадки зависит, будет ли устройство перекачивать воду или просто бесполезно двигать рукоятку. Работа с физической моделью позволила не просто прочитать о законах Паскаля и атмосферном давлении, но и почувствовать их руками через сопротивление рычага и инерцию водяной струи.








Заключение

В ходе выполнения данного исследовательского проекта были изучены физические принципы работы, история создания и области применения поршневого жидкостного насоса. Поставленные задачи были полностью выполнены.

В теоретической части работы мы проследили эволюцию устройства: от античного механизма Ктесибия, через средневековые шахтные помпы, до современных гидравлических систем. Было установлено, что базовая кинематическая схема насоса остается неизменной на протяжении более двух тысяч лет, что доказывает ее фундаментальную эффективность. Мы детально разобрали физические основы процесса, выяснив, что насос работает не за счет «всасывания» воды, а за счет создания разрежения, в которое жидкость заталкивается внешним атмосферным давлением. Также был обоснован теоретический предел высоты всасывания (около 10,3 метра) и роль инерции жидкости.

В практической части была собрана действующая деревянная модель насоса. В процессе сборки и пусконаладки мы на собственном опыте убедились в критической важности герметичности клапанов и минимального трения поршня.

Таким образом, гипотеза исследования подтвердилась: эффективность насоса напрямую зависит от качества работы его простейших элементов — клапанов, а создаваемый напор ограничен физическими свойствами атмосферы.

Практическая значимость работы заключается в том, что собранная модель может служить наглядным учебным пособием на уроках физики для демонстрации законов гидростатики и газодинамики. Понимание принципа действия поршневого насоса полезно в быту при эксплуатации водяных скважин, садовых опрыскивателей и ручных гидравлических инструментов. Работа над проектом позволила не только углубить знания по механике, но и развить навыки инженерного мышления, работы с чертежами и проведения натурного физического эксперимента.

Список литературы и источников

1. *Перельман Я. И.* Занимательная физика. В 2 кн. Кн. 1. — М.: Наука, 1976. (Разделы о давлении воздуха и сообщающихся сосудах).
2. *Перельман Я. И.* Знаете ли вы физику? — М.: ОНТИ, 1934.
3. *Пёрышкин А. В.* Физика. 7 класс: учебник. — М.: Дрофа, 2023. (Темы «Давление жидкостей и газов», «Атмосферное давление»).
4. *Кикоин И. К., Кикоин А. К.* Физика: Учебник для 9 класса. — М.: Просвещение, 1990. (Глава «Механика жидкостей и газов»).
5. *Агрикола Г.* О горном деле и металлургии. В 12 книгах. — М.: Недра, 1986. (Исторический источник, описывающий применение насосов в горном деле XVI века).
6. *Ландау Л. Д., Китайгородский А. И.* Физика для всех: Молекулы. — М.: Наука, 1978.
7. Энциклопедия для детей. Том 16. Физика. — М.: Аванта+, 2002.
8. *Гуревич А. Я.* Индивид и социум на средневековом Западе. — М.: РОССПЭН, 2005. (Для понимания технологического контекста развития насосов в Средние века).
9. Технические описания и паспорта промышленных насосов серии К (консольные) и КМ (консольно-моноблочные). — Каталоги насосного оборудования, 2023.
10. *Торричелли Э.* О движении свободно падающих и брошенных тяжелых тел. — М.: ГИТТЛ, 1952. (Классический труд, объясняющий природу атмосферного давления).
11. *Савельев И. В.* Курс общей физики: Механика. — М.: КноРус, 2022. (Для уточнения формул гидростатики и кинематики кривошипно-шатунного механизма).
12. ГОСТ 6134-2007 (ИСО 9906:1999) Насосы динамические. Методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2008. (Использован как справочный материал для оценки КПД и производительности).