

На правах рукописи



НОСКОВ ЕВГЕНИЙ ИГОРЕВИЧ

**Конструкция и методика расчета
пневмоприводного вакуумного насоса**

Специальность 05.04.13 - Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2015

Работа выполнена на кафедре «Турбины, гидромашины и авиационные двигатели» секторе «Гидромашин» в Санкт-Петербургском Политехническом университете им. Петра Великого.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Донской Анатолий Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Сигачева Валентина Васильевна

кандидат технических наук, доцент
Плясунов Николай Васильевич

Ведущая организация: ООО «Камоцци Пневматика»

Защита состоится «09» февраля 2016 года в ____ .00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.09 при ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», расположенного по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, Главный учебный корпус, аудитория ____.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке и на официальном сайте ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (<http://www.spbstu.ru/>)

Автореферат разослан « ____ » _____ 2015г

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор



Хрусталеv Борис Сергеевич

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В настоящее время вакуумная техника активно применяется в различных областях науки и техники: в электронной технике, машиностроении, металлургии, химической промышленности, медицине, оптической промышленности, транспорте, пищевой промышленности и других.

На сегодняшний день существует большая разновидность типов вакуумных насосов: механические, сорбционные, молекулярные, магниторазрядные и другие. Однако большинство насосов могут оказаться непригодными в условиях высоких температур, радиации, электромагнитных полей, запыленности, особых требований к пожарной безопасности (экстремальных условий). В первую очередь ограничения применимости накладываются на привод насоса, который чаще всего представлен электродвигателем.

Наиболее целесообразным является применение пневматического привода, который отличается простотой конструкции и возможностью работы в экстремальных условиях. При этом применение пневматического цилиндра в качестве привода поршневого вакуумного насоса позволяет перейти к созданию свободнопоршневых конструкций, исключив передаточные звенья в кинематической цепи «привод-насос». В результате отсутствие внешних подвижных частей делает применение вакуумных насосов в экстремальных условиях наиболее эффективным и безопасным.

Целью диссертации является разработка конструкции и методики расчета пневмоприводного вакуумного насоса.

Основными задачами в диссертации являлись:

1. Анализ возможности применения вакуумных насосов для экстремальных условий;
2. Формирование принципа построения пневматического вакуумного насоса для экстремальных условий;
3. Разработка принципиальной конструкции пневмоприводного вакуумного насоса;
4. Построение математической модели вакуумного пневмоприводного насоса;

5. Разработка универсальной программы для теоретических и экспериментальных исследований динамики пневмоприводного вакуумного насоса;

6. Теоретическое и экспериментальное исследование влияния основных конструктивных параметров пневмоприводного насоса на его характеристики.

Научная новизна работы:

1. Предложен принцип построения вакуумных насосов в виде свободнопоршневых конструкций, что позволило объединить в одном пневмоцилиндре функции пневмопривода и вакуумного насоса и полностью исключить передаточные звенья от привода к насосу (подтвержден положительным решением Федеральной службы по интеллектуальной собственности №2015130461/06(046898) от 04.09.2015);

2. Разработана математическая модель привод-насоса, автоматически учитывающая все возможные режимы течения газа и движения исполнительного органа привод-насоса, работу направляющей аппаратуры и работу пневмодемпферов;

3. Разработана программа и интерфейс для выполнения теоретических расчетов и проведения экспериментальных исследований привод-насоса на базе программной оболочки LabVIEW;

4. Предложен принцип управления привод-насосом без контрольной аппаратуры за счет введения дополнительных управляющих линий;

5. Сформирована методика выбора основных параметров вакуумного привод-насоса;

6. На основе проведенных численных и экспериментальных исследований получены рекомендации по выбору основных конструктивных параметров привод-насоса.

Достоверность результатов научных положений базируется на фундаментальных законах физики и экспериментальной проверке используемой методики, выполненную на экспериментальной установке СПбПУ на кафедре ТГиАД, в секторе «Гидромашиностроения».

Основными методами исследования в данной работе являются метод математического моделирования вакуумного привод-насоса, а также экспериментальное исследование процессов в привод-насосе на экспериментальной установке.

Практическая ценность:

1) Предложен принцип конструирования поршневых вакуумных насосов с пневмоприводом на основе свободнопоршневых конструкций, в которых отсутствуют внешние подвижные части, что делает их применение в экстремальных условиях наиболее эффективным и безопасным.

2) На основе предложенного метода универсального блочного математического моделирования привода разработана программа для проектирования, а также экспериментального исследования пневмоприводного насоса;

3) Даны практические рекомендации по выбору конструктивных параметров пневмосхемы вакуумного пневмоприводного насоса;

4) Разработанная конструкция 2-х цилиндрового гравитационного пневмоприводного вакуумного насоса может быть реализована с помощью стандартных пневмоцилиндров и аппаратуры.

Положения, выносимые на защиту:

1. Принцип построения свободнопоршневого вакуумного привод-насоса;
2. Унифицированная математическая модель вакуумного привод-насоса;
3. Программа расчета и интерфейс в программной оболочке Labview;
4. Результаты теоретических исследований вакуумного привод-насоса;
5. Результаты экспериментальных исследований привод-насоса.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях: 7-ая МНТК «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоагрегаты. Современное состояние и перспективы развития.» СПбГПУ, 2012; XLI неделя науки СПбГПУ «Материалы научно-практической конференции с международным участием 3-8 декабря 2012 года», СПбГПУ 2012; 8-ая МНТК «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоагрегаты. Современное состояние и перспективы развития.» СПбГПУ, 2014; конференции самарского научного центра российской академии наук 2013, 2014, 2015.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 7 печатных работ. В том числе – 3 публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав с выводами и заключения. Объем диссертации составляет 199 страниц, в том числе 144 страницы основного текста, список литературы из 71 наименования на 6 страницах, 189 рисунков и 7 таблиц на 40 страницах.

Содержание работы

Во введении показывается, что вакуумные насосы широко применяются в различных областях науки и техники. Доказывается актуальность темы, теоретическая и практическая значимость, описываются научная новизна, основная цель и задачи диссертации, достоверность результатов.

В первой главе проводится сравнительный анализ конструкций механических вакуумных насосов. Показаны проблемы их изготовления, обслуживания и применения в экстремальных условиях. Выполнен сравнительный анализ приводов насосов – электрического, механического, гидравлического и пневматического. Дается обоснование применению простых, надежных и дешевых конструкций вакуумного привод-насоса. В результате проведенного анализа показано, что для построения в целом вакуумной установки целесообразно применять насос плунжерного типа с пневмоприводом. При этом применение пневмоцилиндра позволяет объединить насос и привод в одной конструкции.

Рассмотрены проблемы моделирования газодинамических процессов в привод-насосе. Развитию теории и расчета пневматического привода посвящены работы В.И. Погорелова, Б.Н. Бежанова, В.Г. Градецкого, В.Н. Дмитриева, Е.В. Герц, Г.В. Крейнина, А.С. Донского, Б.М. Подчуфарова, А.Г. Холзунова и других авторов. Математическому моделированию и конструированию поршневых насосов посвящены работы С.Е. Захарченко, Б.С. Фотина, Л.Н. Розанова и других авторов. Типовая математическая модель пневмопривода описывает процессы изменения давления в полостях цилиндра и движение поршня. При этом считается, что в одной полости идет наполнение, а в другой – опустошение, а движение поршня происходит в одну сторону. При работе вакуумного привод-насоса при движении поршня в одну сторону в одной и той же полости может происходить как наполне-

ние, так и истечение газа. Зачастую инженер не может предвидеть изменения характера процессов. Поэтому возникает задача создания унифицированной математической модели, позволяющей учесть влияния всех факторов.

Выполнен сравнительный анализ современных программных пакетов. Программы, ориентированные для работы с пневмоприводом (fluidsim, amesim) достаточно удобны в обращении, но в них невозможно изменить заложенные уравнения и основные параметры, а в программах для универсального программирования (Mathcad, matlab) довольно сложно записать уравнения привода. Наиболее функциональным для решения задач в данной работе программным продуктом является LabVIEW, позволяющий автоматизировать процессы расчета пневмоприводов, а также осуществлять управление экспериментальной установкой в реальном времени.

Вторая глава посвящена синтезу вакуумного привод-насоса. В результате анализа различных вариантов схем привод-насоса была принята схема на основе свободнопоршневой конструкции устройства. Была выдвинута идея создания гравитационного вакуумного насоса, в котором движение поршня вниз осуществляется за счет силы тяжести движущихся частей, а вверх – за счет давления газа.

Создание вакуумных насосов в виде свободнопоршневых конструкций позволило объединить в одном пневмоцилиндре функции пневмопривода и вакуумного насоса и полностью исключить передаточные звенья от привода к насосу.

В результате анализа разных конструктивных решений предложены два варианта построения свободнопоршневых конструкций «привод-насос».

1 вариант – гравитационный (вертикальный) привод-насос, в котором движение поршня вверх осуществляется за счет давления газа от магистрали, а движение вниз происходит под действием силы тяжести подвижных частей.

2 вариант – привод-насос с произвольным расположением в пространстве, в котором возвратно-поступательное движение поршня происходит только сжатым газом.

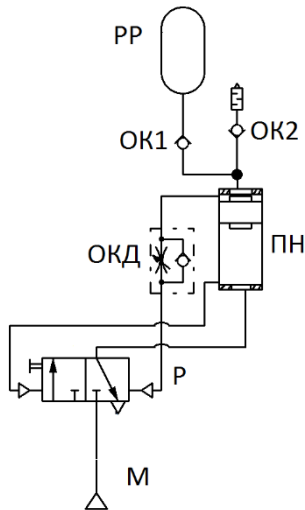


Рисунок 1.
Пневматическая
схема
одноцилиндрового
гравитационного
привод-насоса.

На рисунке 1 представлена пневматическая схема одноцилиндрового гравитационного вакуумного привод-насоса. Конструкция гравитационного привод-насоса ПН представляет собой поршень, расположенный в гильзе, с двух сторон ограниченной крышками. В крышках выполнены специальные пазы и отверстия для подвода и отвода газа.

Работа привод-насоса ПН происходит следующим образом. В начальный момент поршень находится у нижней крышки, а давление в полостях атмосферное. После переключения распределителя Р в нижнюю полость подается газ под давлением. Верхняя полость связана с атмосферой через обратный клапан ОК2. Из-за разницы давлений поршень начинает движение вверх.

До подхода поршня к крышке давление в полости близко к атмосферному.

После того как втулка поршня начнет заходить в паз крышки (Рисунок 2), верхняя полость автоматически разделится: давление, действующее на втулку в камере 1 будет близко к атмосферному, а давление на оставшуюся площадь поршня в камере 2 начнет резко возрастать, поскольку оно находится в запертом объеме.

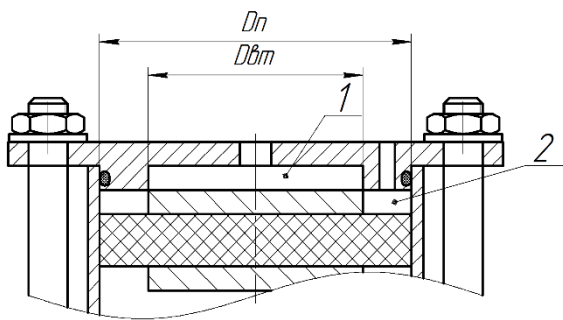


Рисунок 2. Схема торможения поршня

Таким образом, после захода втулки в выемку крышки давление верхней полости возрастет за счет разности эффективных площадей поршня в верхней и нижней полости до давления выше, чем в нижней полости. Из-за этого появится перепад давле-

ний в линиях управления распределителя Р; он переключится, связав нижнюю полость с атмосферой. Поршень под действием силы тяжести и давления в верхней полости начнет движение вниз.

По мере опускания поршня вниз, в верхней полости создается разрежение, благодаря чему газ из ресивера РР через обратный клапан ОК1 поступает в эту полость.

При приближении поршня к нижней крышке его втулка заходит в паз нижней крышки, давление в замкнутой части между поршнем и крышкой возрастает, что также приводит к появлению перепада давления в линиях управления распределителя Р и он переключается, тем самым соединив нижнюю полость с магистральным давлением и цикл повторяется заново. Обратный клапан с дросселем ОКД не позволяет переключаться распределителю за счет вакуума.

Для получения более глубокого вакуума предложена двухцилиндровая конструкция привод-насоса, которая представляет собой единый поршень, расположенный в верхней и нижней гильзах. При этом верхняя гильза имеет меньший диаметр, что позволяет создать более глубокий вакуум. Принципиальная пневматическая схема такого привод-насоса представлена на рисунке 3. Гильзы разделены перегородкой. С двух других сторон гильзы закрыты крышками. В нижней крышке и перегородке со стороны нижней гильзы выполнены пазы, аналогичные пазам в предыдущей конструкции вакуумного насоса.

Конструкция обладает возможностью работы, при необходимости, в не-

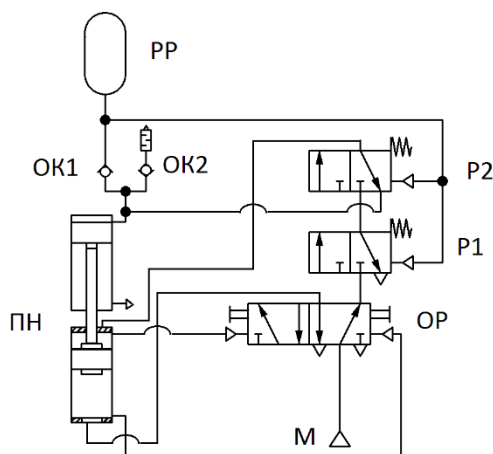


Рисунок 3. Пневматическая схема двухцилиндрового гравитационного вакуумного привод-насоса.

сколько этапов. На этапе «низкого вакуума» привод-насос работает с максимальной производительностью, но при этом глубина вакуума в 3-4 раза ниже, чем на других этапах. Этап «среднего вакуума» является основным; максимальная глубина вакуума на этом этапе достигает 5-10кПа. На этапе «высокого вакуума» для увеличения глубины вакуума используется сжатый газ из магистрали. Сила тяжести движущихся частей на этом этапе играет низкую роль, что позволяет уменьшить массу движущихся частей насоса.

стей насоса.

В начальный момент поршень привод-насоса ПН находится в нижнем положении. Основной распределитель ОР переключается, и в нижнюю полость нижней гильзы подается сжатый воздух из магистрали М. Верхняя полость нижней гильзы через распределитель Р2 и обратный клапан ОК2 связана с атмосферой. Нижняя полость верхней гильзы связана с атмосферой постоянно. Верхняя полость верхней гильзы связана с атмосферой через обратный клапан ОК2. Из-за перепада давления поршень начнет движение вверх. При подходе поршня к верхней крышке втулка поршня войдет в паз разделителя, в результате чего начинается торможение аналогично ранее описанному на рисунке 2 торможению поршня, и в линиях управления основного распределителя ОР появится перепад давлений. В результате распределитель переключится, связав нижнюю полость нижней гильзы с атмосферой.

Поршень под действием силы тяжести устремится вниз, создавая разрежение в верхних полостях обеих гильз. Газ из ресивера РР будет поступать в эти полости через обратный клапан ОК1 для верхней гильзы, и обратный клапан и распределитель Р2 – для нижней. При подходе к нижней крышке втулка поршня зайдет в паз нижней крышки, в замкнутом объеме между поршнем и нижней крышкой давление возрастет, что приведет к появлению перепада давлений в линиях управления распределителя, и он переключится, тем самым начав цикл сначала.

Цикл этапа «низкого вакуума» будет повторяться до тех пор, пока давление в ресивере РР не снизится до значения настройки переключения распределителя Р2. При давлениях ниже, чем величина этой настройки распределитель Р2 переключится и при движении поршня вниз верхняя полость нижней гильзы будет связана с атмосферным давлением через распределители Р1 и Р2 вместо ресивера РР. Это позволяет увеличить глубину вакуума. Этап «среднего вакуума» происходит при значениях давления вакуума, лежащих в диапазоне переключения распределителя Р1 и Р2.

При значениях вакуума ниже величины настройки распределителя Р2 он переключится, и при движении поршня вниз в верхнюю полость нижней гильзы будет подаваться магистральное давление через основной распределитель и распределители Р1 и Р2.

Для получения вакуума в случаях, когда применение гравитационных конструкций представляется нецелесообразным, предложена конструкция дифференциального привод-насоса, которая представляет собой единый поршень, расположенный в двух гильзах одного диаметра. Гильзы разделены перегородкой и закрыты крышками. Пневматическая схема представлена на рисунке 4.

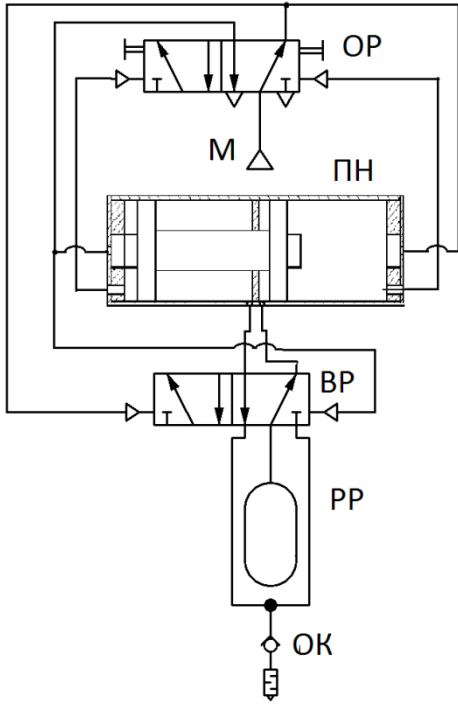


Рисунок 4. Пневматическая схема дифференциального привод-насоса.

В начальный момент времени поршень привод-насоса ПН находится у крышки слева. После переключения основного распределителя ОР в левую поршневую полость подается газ под давлением из магистрали М, а правая поршневая связывается с атмосферой через обратный клапан ОК. Левая и правая штоковые полости связываются через вакуумный распределитель ВР с атмосферой и ресивером РР соответственно. В результате создается перепад давлений на поршне, и он начинает движение вправо.

При приближении поршня к правой крышке втулка поршня заходит в паз крышки, что приводит к повышению давления в замкнутой полости между поршнем и правой крышкой. В результате в линиях

управления основного распределителя появляется перепад давлений, и он переключается, связав правую поршневую полость с магистралью, а левую — с атмосферой. Переключение распределителя ОР приведет к перепаду давлений в линиях управления распределителя ВР и его переключению, в результате чего ресивер будет связан с левой штоковой полостью, а атмосфера — с правой. Перепад давлений на распределителе приведет к его реверсу и движению влево.

При приближении поршня к левой крышке втулка поршня войдет в паз крышки, что приведет к повышению давления в замкнутой полости, появлению перепада давлений на основном распределителе и его переключению. После переключения основного распределителя переключится и вакуумный распределитель, и цикл начнется сначала.

В конце главы выполнен анализ классических математических моделей пневмопривода. Типовая математическая модель привода описывает процесс в приводе, когда одна полость наполняется сжатым воздухом из магистрали, газ из другой истекает в атмосферу, а движение происходит в одну сторону.

В рассматриваемых в работе конструкциях при движении поршня привод-насоса в одном направлении в одной и той же полости может происходить как наполнение, так и истечение газа. Кроме того, на движение поршня влияют процессы в ресивере, а также в пневмодемпферах. Для автоматизации расчета привод-насоса с учетом всех этих особенностей ведены специальные обобщенные конструктивные и управляющие параметры. В результате математическая модель любого из предложенных конструкций привод-насосов описывается одной и той же системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} M \frac{d^2 x}{dt^2} = p_1 \cdot F_1 + a_{\partial 1} \cdot f_{\partial 1} (p_{\partial 1} - p_1) + \dots + A_{\text{пол}(n)} \cdot (p_n \cdot F_n - a_{\partial(n)} \cdot f_{\partial(n)} (p_{\partial(n)} - p_n)) - F_{mp} - \alpha \cdot Mg \\ \frac{dp_n}{dt} = \left[\frac{k \cdot f_n \cdot \sqrt{R \cdot T_M}}{(C_n \cdot F_n \cdot X_{\text{пол}(n)} + V_{\text{пол}(n)} (1 - C_n)) \sqrt{\zeta_n}} \cdot \sqrt{p_{\partial(n)}^2 - p_n^2} - A_{\text{пол}(n)} \cdot C_n \cdot \frac{k \cdot p_n}{X_{\text{пол}(n)}} \cdot \frac{dx}{dt} \right] \cdot B_n - \\ - \left[\frac{k \cdot f_n \cdot \sqrt{R \cdot T_M}}{(C_n \cdot F_n \cdot X_{\text{пол}(n)} + V_{\text{пол}(n)} (1 - C_n)) \sqrt{\zeta_n}} \cdot \left(\frac{p_n}{p_M} \right)^{\frac{k-1}{2 \cdot k}} \cdot \sqrt{p_n^2 - p_{\partial(n)}^2} + A_{\text{пол}(n)} \cdot C_n \cdot \frac{k \cdot p_n}{X_{\text{пол}(n)}} \cdot \frac{dx}{dt} \right] \cdot (1 - B_n) \\ a_{\partial(n)} = 1, \text{ если есть демпфер, } a_{\partial(n)} = 0, \text{ если нет демпфера;} \\ \alpha = 1, \text{ если привод расположен вертикально, } \alpha = 0, \text{ если – горизонтально;} \\ X_{\text{пол}(n)} = (x + x_{0n}) \text{ и } A_{\text{пол}(n)} = 1 - \text{ для нечетных полостей пневмоприводов*}, \\ X_{\text{пол}(n)} = (S - x + x_{0n}) \text{ и } A_{\text{пол}(n)} = -1 - \text{ для четных;} \\ B_n = 1, \text{ если } p_{\partial(n)} > p_n - \text{ процесс наполнения, } B_n = 0, \text{ если } p_n > p_{\partial(n)} - \text{ процесс истечения;} \\ C_n = 1 - \text{ для пневмоцилиндров; } C_n = 0 - \text{ для постоянных объемов (ресивера);} \\ x = 0; \frac{dx}{dt} = 0, \text{ при } x \leq 0, x = S; \frac{dx}{dt} = 0, \text{ при } x \geq S - \text{ограничение движения.} \end{array} \right. \quad (1),$$

*Первой полостью считается объем, расположенный между нулевой координатой поршня и самим поршнем, второй – объем с другой стороны поршня и т. д.

Полное количество всех полостей – n.

где $p_{\partial n}$ – внешнее давление для каждой полости, Па; p_n – давление внутри полости, Па; k – показатель адиабаты воздуха (коэффициент Пуассона); f – площадь про-

ходного сечения трубопровода, м^2 ; $V_{\text{пол}}$ - объем ресивера, м^3 ; $f_{\text{вм}}$ - площадь втулки пневмодемпфера, м^2 ; F - эффективная площадь поршня, м^2 ; R - газовая постоянная, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; T - абсолютная температура газа, К ; x - координата положения поршня, м ; x_0 - приведенная координата, характеризующая объем вредного пространства; м ; ζ - коэффициент сопротивления линии, дросселей; M - масса подвижных частей, кг ; S - максимальный ход поршня, м ; N - статическая нагрузка, Н ; $F_{\text{тр}}$ - сила трения, Н (сухое и вязкое). Ниже показана расчетная схема модели.

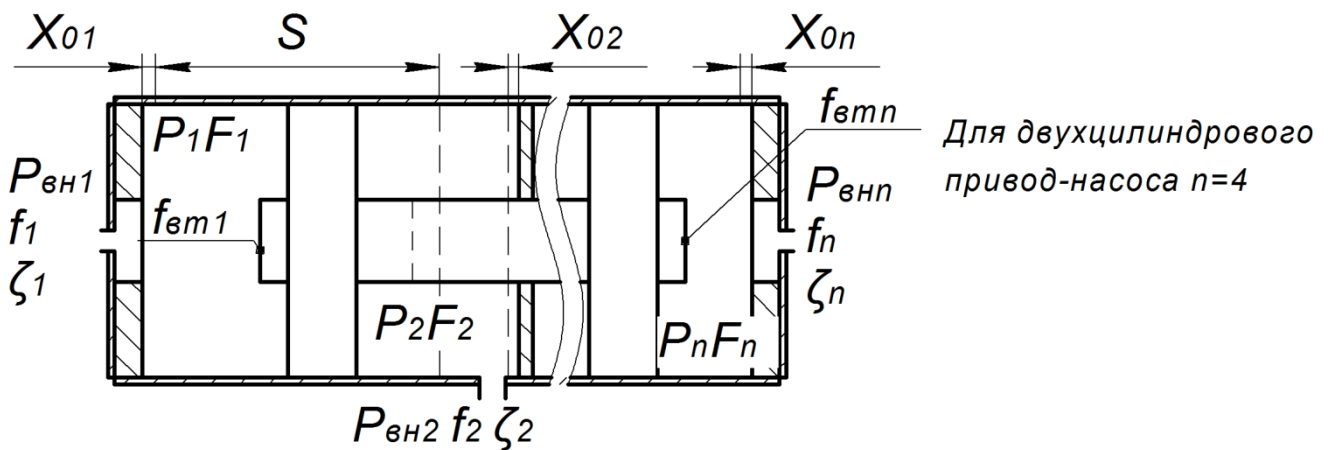


Рисунок 5. Расчетная схема привод-насоса.

Третья глава посвящена разработке методике решения и программы для расчета вакуумного привод-насоса с использованием полученной во втором разделе универсальной математической модели.

Разработанная в программной среде LabVIEW программа позволяет не только выполнять теоретические расчеты привод-насоса, но и производить исследование на экспериментальной установке в режиме реального времени.

Предложен метод блочного построения программ математической модели привод-насоса, что позволяет повысить универсальность, скорость написания программ, снизить влияние человеческого фактора и т.п. В результате разработки программы и интерфейса программа расчета привод-насоса разбита на следующие блоки: блок создания уравнений, блок направления течения газа, блок пневматической аппаратуры, блок площадей, блок основ уравнений, блок Рунге-Кутта, блок управления, блок крышки цилиндра, блок компоновки блоков.

Все блоки могут работать независимо друг от друга, что позволяет проще проводить отладку их работы и применять их в качестве подпрограмм в других программах. Структура программы, разбитая на блоки в среде Labview (фрагмент), показана ниже (Рисунок 6):

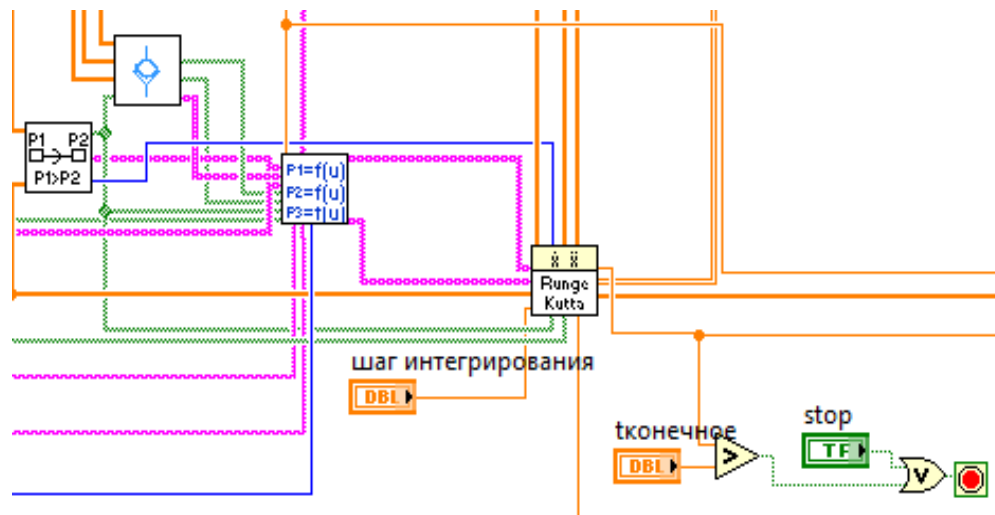


Рисунок 6. Фрагмент структуры программы.

Разработанный интерфейс программы является интуитивно понятным, и не требует от оператора глубоких знаний о процессах в пневмоприводе. Для работы программы необходимо правильно задать геометрические параметры исследуемого привода (диаметры поршней, штоков, втулок демпферов, хода поршня и т.п.), начальные данные давлений в полостях, положений и скоростей поршней и информацию о переключениях распределителей и наличия обратных клапанов в линиях привода. Остальную информацию программа определяет автоматически.

В четвертой главе проводится теоретическое исследование пневматического вакуумного привод-насоса.

Выполнен анализ влияния массы, диаметра и хода поршней на процесс в одноцилиндровом и двухцилиндровом гравитационном вакуумном привод-насосе.

В результате проведенных исследований установлено, что при ходе поршня менее 0,5м идет прирост производительности. При ходе более 0,5м прирост составляет менее 2%, и его увеличение не является целесообразным.

Показано, что средняя производительность растет по квадратичной зависимости от диаметра поршня, поэтому её расчет можно осуществлять по классическим формулам вакуумных насосов.

Исследование влияния массы поршня в гравитационном привод-насосе показали, что при увеличении массы поршня увеличивается и предельная глубина вакуума. Однако при массах выше определенных величин глубина прироста предельной глубины вакуума составляет не более 2-5кПа. Поэтому дальнейшее увеличение массы не целесообразно. Значения этих величин найдены и сведены в график рациональных масс. Дано математическое описание этой кривой в виде формулы.

Показано, что на этапе «низкого вакуума» в гравитационном двухцилиндровом вакуумном привод-насосе производительность возрастает (по сравнению с этапом «среднего вакуума» за счет использования площади нижнего поршня в 1,5 и более раз, однако резко сокращая максимальную глубину вакуума (в 3 и более раза). Определено рациональное давление питания для двухцилиндрового вакуумного привод-насоса, которое лежит в пределах 1,2-2,5бар и представлено на графике.

На этапе «высокого» вакуума определено, что при опускании поршня с помощью магистрального давления масса поршня не оказывает влияния на производительность и глубину вакуума. Таким образом, использование газа из магистрали для опускания поршня позволяет снизить массу и габариты устройства, но повышает энергопотребление.

В качестве примера расчета процессов в привод-насосе представлены графики изменения давления в ресивере для различных масс поршня для диаметра поршня $d = 16\text{мм}$, длины гильзы $S=1\text{м}$ для одноцилиндрового вакуумного привод-насоса (Рисунок 7).

Заключительная **пятая глава** посвящена экспериментальным исследованиям и подтверждению теоретических выводов. Приводится описание установки. Приводятся пневматические схемы для проведения экспериментов. Описываются их принцип действия и составные компоненты. Сравняются экспериментальные данные, полученные на стенде и результаты теоретических расчетов. Приводится вывод о соответствии математической модели реальным процессам в пневмоприводе.

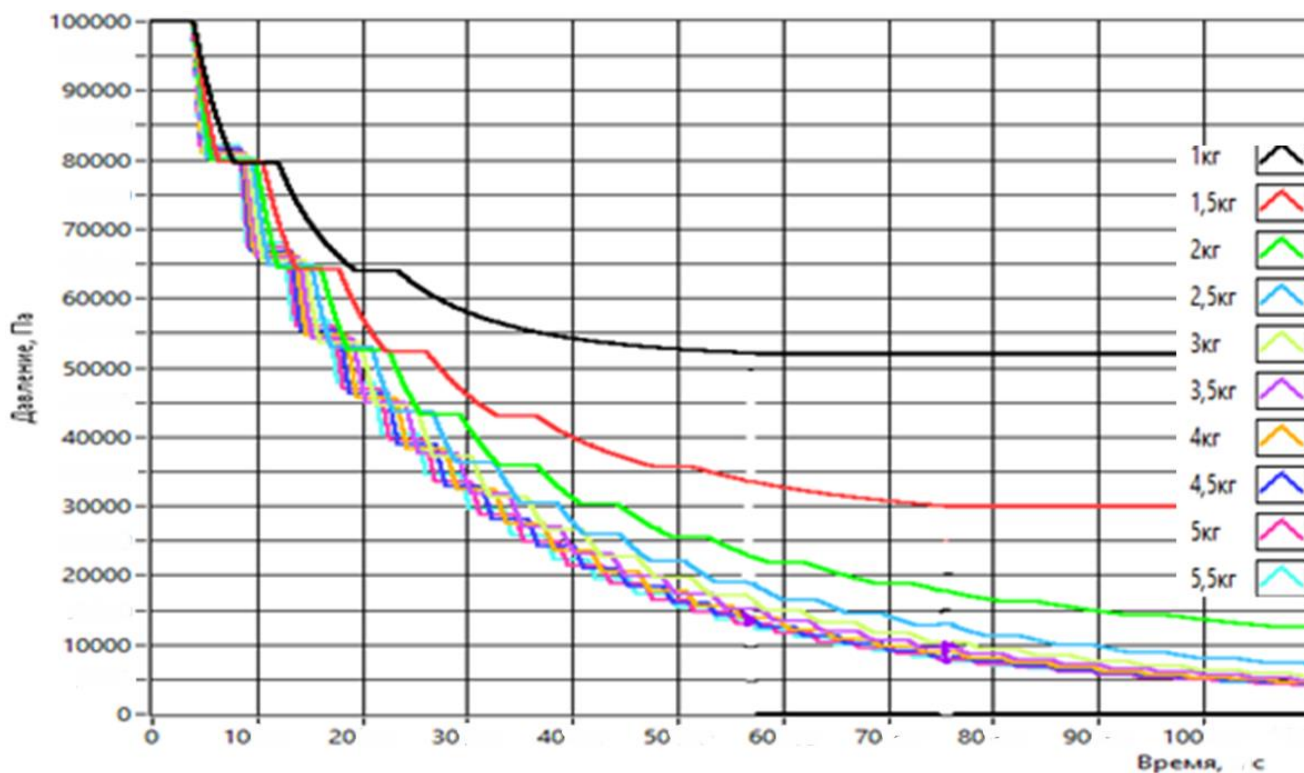


Рисунок 7. Изменение давления в ресивере (Па) при различных массах подвижных частей для поршня диаметром $d=16$ мм и длиной гильзы $S=1$ м.

Вид экспериментальной установки для испытаний представлен на рисунке 8.

На рисунке 9 представлены графики изменения координаты поршня во времени, полученные в результате расчета по полученной математической модели (штриховая линия) и экспериментальным путем (сплошная линия).



Рисунок 8. Экспериментальная установка для испытаний двухцилиндрового пневмоприводного вакуумного насоса.

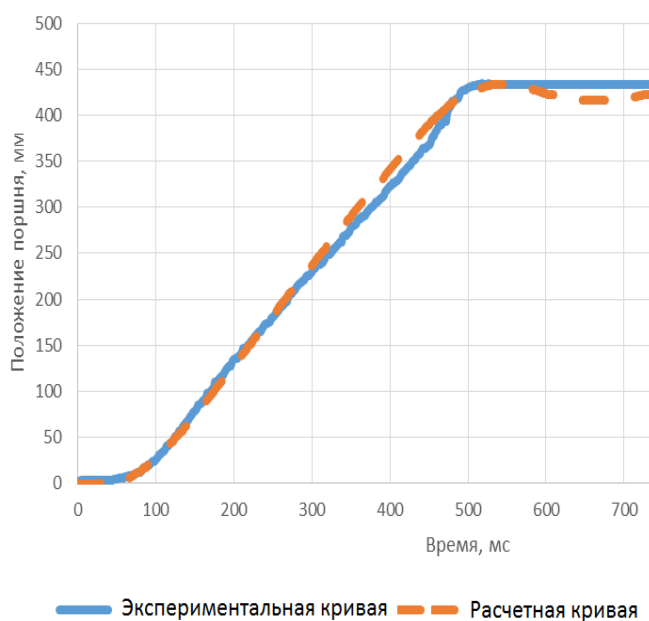


Рисунок 9. График изменения координаты движения поршня.

Основные результаты

1. Предложен принцип построения пневмоприводного вакуумного насоса для экстремальных условий эксплуатации, суть которого заключается в том, что исполнительный орган пневмопривода (поршень) является одновременно исполнительным органом поршневого вакуумного насоса;

2. Разработаны конструкции свободнопоршневых устройств, объединяющих в одном пневмоцилиндре функции пневмопривода и вакуумного насоса, исключив тем самым передаточные звенья от привода к насосу. В конструкциях отсутствуют внешние подвижные части, что делает их применение в экстремальных условиях наиболее эффективными и безопасными;

3. Разработанная конструкция двухцилиндрового гравитационного пневмоприводного вакуумного насоса может быть реализована с помощью стандартных пневмоцилиндров и аппаратуры;

4. Предложены принцип управления вакуумным пневмоприводным насосом и принципиальные пневматические схемы, обеспечивающие непрерывную работу привод-насоса в режиме автоколебаний без использования контрольной аппаратуры за счет введения дополнительных управляющих линий;

5. Разработана универсальная математическая модель пневмоприводного вакуумного насоса на основе предложенного метода блочного математического моделирования, которая автоматически учитывает все возможные режимы течения газа и движения исполнительного органа, работу направляющей аппаратуры и пневмодемпферов. Полученная математическая модель может быть использована также для расчета и других пневматических устройства на основе пневмоцилиндров;

6. Разработана универсальная программа и интерфейс на базе программной оболочки LabVIEW, позволяющие выполнять как теоретические исследования динамики пневмоприводного вакуумного насоса, так и управление экспериментальной установкой в реальном времени;

7. На основе проведенных численных и экспериментальных исследований получены рекомендации по выбору основных конструктивных параметров пневмоприводного вакуумного насоса.

8. Сформирована методика выбора основных параметров вакуумного привод-насоса;

9. Разработаны экспериментальные установки для исследования одно и двухцилиндрового вакуумного насоса. Получено качественное и количественное подтверждение основных результатов теоретических исследований;

Список основных работ соискателя

Публикации в изданиях Перечня ВАК

1. Носков Е. И., Донской А. С. Получение вакуума с использованием эффекта параметрического резонанса // Известия самарского научного центра российской академии наук. – 2013г. – С. 564-567.

2. Носков Е. И., Донской А. С., Скляревский А. Н. Блочное математическое моделирование пневмопривода // Известия самарского научного центра российской академии наук. – 2014г. – С. 484-489.

3. Носков Е. И., Донской А.С. Конструкция свободнопоршневого пневматического вакуумного насоса // Известия самарского научного центра российской академии наук. – 2015г. – С. 859-862.

Публикации в журналах и трудах конференций

1. Донской А. С., Коренев В. П., Носков Е.И. Универсальное пневматическое захватное устройство // Гидравлические машины, гидропривод и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития. – 2012г. – С.178-179.

2. Носков Е. И., Донской А. С. Модернизация пневматического захватного устройства // Материалы научно-практической конференции с международным участием. – 2012г. – С.36-37.

3. Носков Е. И., Донской А. С. Однопоршневой вакуум-генератор с пневмоприводом // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития. – 2014г. – С.233-235.

4. Уведомление о положительном решении Федеральной службы по интеллектуальной собственности на полезную модель «Свободнопоршневой пневматический вакуумный насос» №2015130461/06(046898) от 04.09.2015.