

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА С ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИМ МУЛЬТИПЛИКАТОРОМ ДАВЛЕНИЯ

Кривошеев Н.С., Жарковский А.А.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: пневмогидравлический привод, пневмогидравлика, автоматизация, гидропривод, пневмопривод, пневматика, пневмогидравлический мультипликатор давления.

Аннотация. В данной работе рассматривается задача разработки математической модели пневмогидравлического привода для оценки статических и динамических параметров. Разработаны рекомендации по выбору типа пневмогидравлического привода, в зависимости от поставленной задачи. Предложены критерии для подбора оборудования и выбора исходных параметров для пневмогидравлических приводов и гидравлических приводов с пневмогидравлическим мультипликатором давления.

MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING THE STATIC AND CONTROL PARAMETERS OF A HYDRAULIC DRIVE WITH A PNEUMATIC-HYDRAULIC PRESSURE MULTIPLIER

Krivosheev N.S., Zharkovskij A.A.

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

Keywords: pneumo-hydraulic drive, pneumo-hydraulics, automation, hydraulic drive, pneumatic drive, pneumatics, air-hydro booster.

Abstract. This paper examines the development of a mathematical model for a pneumohydraulic drive to evaluate its static and dynamic parameters. Recommendations for selecting the type of pneumohydraulic drive based on the task at hand are developed. Criteria for selecting equipment and initial parameters for pneumohydraulic drives and hydraulic drives with a pneumohydraulic pressure multiplier are proposed.

Гидравлические приводы, оснащённые пневмогидравлическими мультипликаторами давления, представляют собой сложные энергетические системы, объединяющие элементы пневматических и гидравлических приводов. В таких системах используются два типа рабочих сред – газ и рабочая жидкость, взаимодействие которых обеспечивает преобразование энергии и передачу механического движения исполнительным механизмам. Участок системы, в котором используется газ, относится к пневматической части привода, а часть, функционирующая на основе рабочей жидкости, образует гидравлический контур системы [1]. Комбинирование пневматических и гидравлических элементов позволяет использовать преимущества обоих типов приводов. Пневматическая часть обеспечивает простоту и доступность источника энергии, тогда как гидравлическая система позволяет получать значительные усилия и высокую точность управления исполнительными механизмами. Благодаря этим свойствам пневмогидравлические приводы широко применяются в различных отраслях техники, включая станкостроение, робототехнику, прессовое оборудование, автомобилестроение и автоматизированные производственные линии [2, 3].

Функционально гидравлический привод с пневмогидравлическим мультипликатором давления выполняет роль промежуточного звена между источником энергии и исполнительным механизмом. Он обеспечивает преобразование энергии сжатого воздуха в энергию потока рабочей жидкости, передачу усилия и регулирование движения исполнительных органов машины. При этом важным свойством подобных систем является возможность реализации различных режимов работы, включая холостой и рабочий ход, а также обеспечение защиты элементов привода от перегрузок. Одним из ключевых элементов рассматриваемого привода является пневмогидравлический мультипликатор давления, обеспечивающий увеличение давления рабочей жидкости за счёт использования энергии сжатого воздуха. Применение мультипликатора позволяет существенно повысить силовые характеристики привода без увеличения габаритов системы и мощности источника энергии. Это делает такие системы особенно эффективными в условиях ограниченного пространства и при необходимости получения значительных усилий исполнительных механизмов. В связи с этим возникает необходимость разработки математических моделей, позволяющих проводить анализ статических и динамических характеристик гидравлических приводов с пневмогидравлическими мультипликаторами давления. Математическое моделирование дает возможность исследовать рабочие процессы в системе, определить распределение давлений в элементах привода, скорость перемещения исполнительных органов, а также временные характеристики переходных процессов [4]. На рисунке 1 представлена принципиальная схема гидравлического привода с пневмогидравлическим мультипликатором давления.

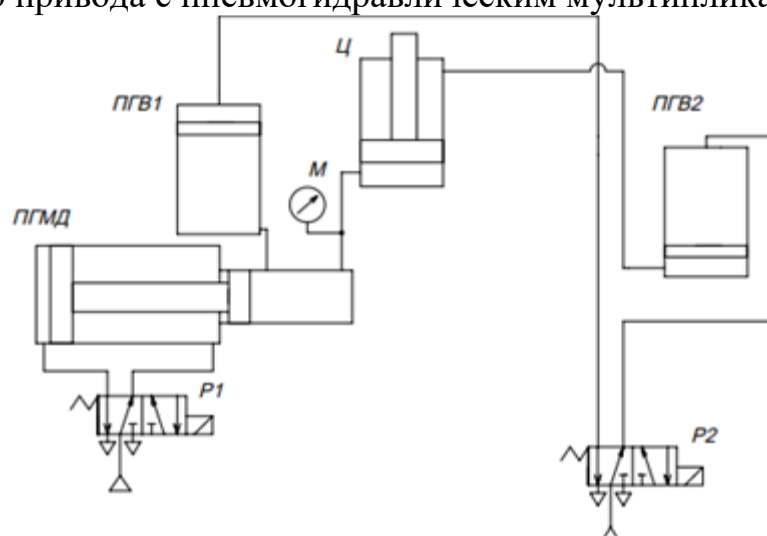


Рис. 1. Принципиальная схема гидропривода с пневмогидравлическим мультипликатором давления

Схема включает исполнительный гидроцилиндр Ц, пневмогидравлический мультипликатор давления ПГМД, пневмогидравлические вытеснители ПГВ1 и ПГВ2, манометр М, а также два пневматических распределителя с электрическим управлением Р1 и Р2. В исходном состоянии шток гидроцилиндра втянут, поршень вытеснителя ПГВ1 находится в верхнем положении, а поршень вытеснителя ПГВ2 — в нижнем положении. Гидравлическая часть мультипликатора давления заполнена рабочей жидкостью. При переключении распределителя Р2 сжатый воздух из пневматической магистрали поступает в пневматическую полость

вытеснителя ПГВ1. Под действием давления рабочая жидкость из гидравлической полости вытеснителя поступает в поршневую полость гидроцилиндра, обеспечивая перемещение его штока. Одновременно рабочая жидкость из штоковой полости цилиндра поступает в вытеснитель ПГВ2. На данном этапе осуществляется холостой ход привода. При последующем переключении распределителя Р1 сжатый воздух подается в пневматическую часть мультипликатора давления. Поршень мультипликатора начинает перемещение, вытесняя рабочую жидкость из гидравлической камеры в поршневую полость гидроцилиндра. При этом давление рабочей жидкости определяется давлением воздуха в пневматической камере мультипликатора и коэффициентом мультипликации. На данном этапе осуществляется рабочий ход исполнительного механизма. При обратном ходе штока гидроцилиндра распределители возвращаются в исходное положение, обеспечивая подачу сжатого воздуха в пневматическую часть вытеснителя ПГВ2. Рабочая жидкость вытесняется в штоковую полость цилиндра, а жидкость из поршневой полости через гидравлическую часть мультипликатора поступает в вытеснитель ПГВ1. Поршень мультипликатора возвращается в исходное положение под действием давления воздуха, подаваемого в противоположную полость пневматической камеры. Для проведения теоретических исследований и построения математической модели используется расчётная схема привода, представленная на рисунке 2.

Расчётная схема позволяет формализовать взаимодействие основных элементов системы и описать их поведение с помощью уравнений динамики и баланса потоков рабочей жидкости. Разработка математической модели гидравлического привода с пневмогидравлическим мультипликатором давления предполагает решение следующих задач:

- определение статических параметров системы, включая давление рабочей жидкости, усилие на штоке гидроцилиндра и коэффициент мультипликации давления;
- исследование динамических характеристик привода, включая скорость перемещения исполнительного органа, временные характеристики переходных процессов и устойчивость работы системы;
- формирование расчётной модели, позволяющей описать взаимосвязь между параметрами пневматической и гидравлической частей привода;
- определение влияния конструктивных и режимных параметров на эффективность работы гидравлического привода.

При построении математической модели учитываются основные исходные параметры системы: требуемая нагрузка на исполнительный механизм; скорость перемещения штока гидроцилиндра; ход поршня гидроцилиндра; давление в пневматической магистрали; параметры пневмогидравлического мультипликатора давления; характеристики рабочей жидкости; условия эксплуатации системы. Разработанная математическая модель позволяет определить давление рабочей жидкости в различных элементах привода, положение и скорость перемещения поршней вытеснителей, мультипликатора давления и гидроцилиндра, а также временные характеристики рабочих процессов. Полученные результаты могут быть использованы для анализа статических и динамических параметров системы, оптимизации конструктивных параметров привода и разработки алгоритмов

расчета и проектирования гидравлических приводов с пневмогидравлическими мультипликаторами давления.

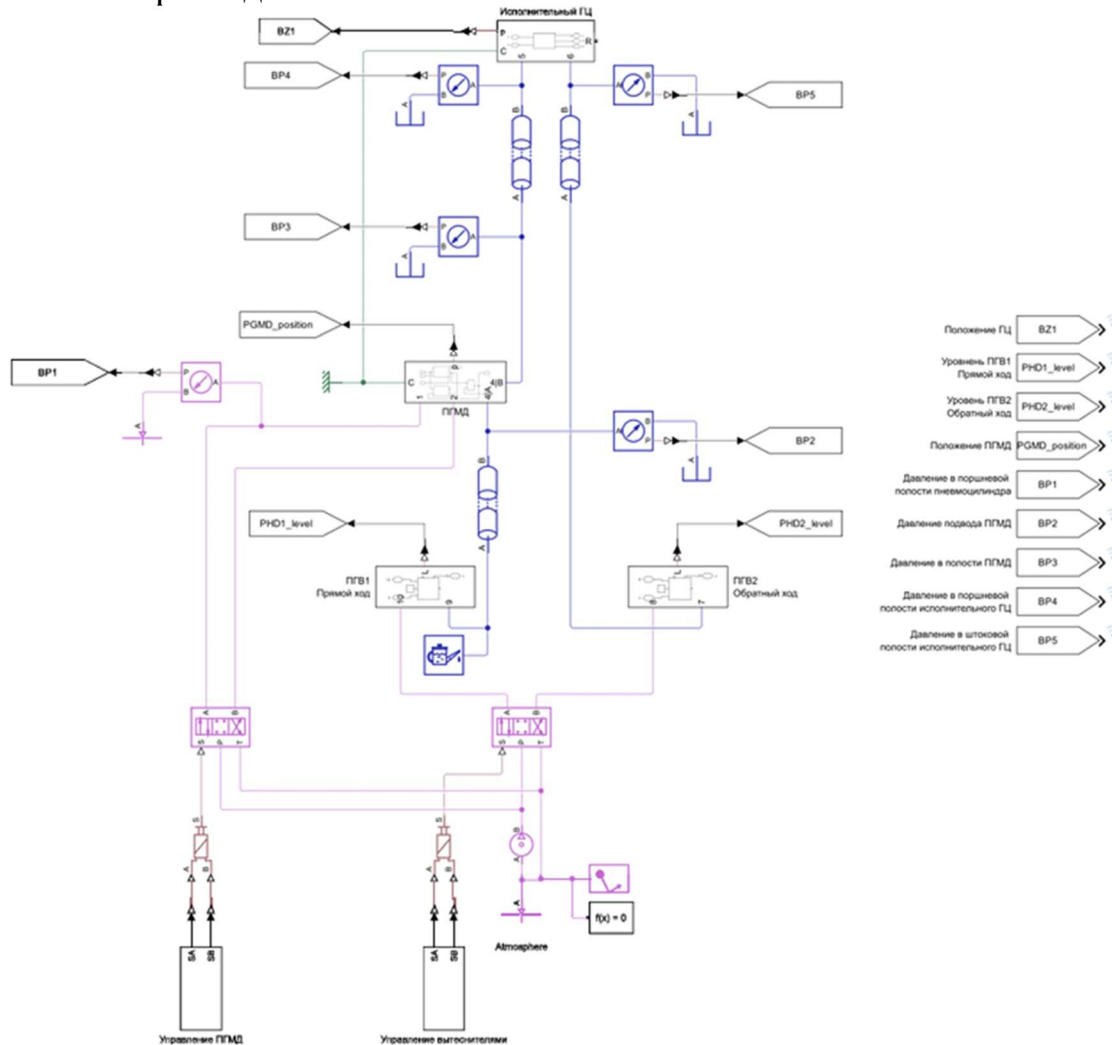


Рис. 2. Расчётная схема пневмогидравлического привода

Заключение. Рассмотрен вопрос возможного сочетания пневматического и гидравлического приводов в станочном оборудовании, предложены рекомендации по выбору типа пневмогидравлического привода, составлена расчётная модель привода с пневмогидравлическим мультипликатором давления.

Список литературы

1. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. Издание 4-е, переработанное и дополненное. – М.: Машиностроение. – 1967.
2. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод: Учебник, ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод / под ред. А.А. Шейпака. – М.: МГИУ, 2003. – 352 с.
3. Схиртладзе А.Г., Иванов В.И., Кареев В.Н. Гидравлические и пневматические системы. – Изд. 2-е, доп. – М.: ИЦ МГТУ «Станкин», «Янус-К», 2003. – 544 с.
4. Кривошеев Н.С., Жарковский А.А., Коткас Л.А. Постановка задачи диагностики неисправностей и анализа эксплуатации пневмогидравлических приводов с пневмогидравлическим мультипликатором давления на основе модели цифрового двойника // Известия МГТУ МАМИ. – 2024. – Т. 18, №3. – С. 203-211. – DOI: 10.17816/2074-0530-631578.

Сведения об авторах:

Жарковский Александр Аркадьевич – д.т.н., профессор;

Кривошеев Никита Сергеевич – аспирант.