

УДК 654.36

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В УЛУЧШЕНИИ СВОЙСТВ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ГИДРОАВТОМАТИКИ

**Михаил Сергеевич Колдин**

кандидат технических наук, доцент

koldinms@yandex.ru

**Никита Андреевич Погорелов**

студент

nik.pogorelov.05@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Проведён анализ средств и элементов систем гидроавтоматики: материалов, технологий изготовления, методов обработки поверхностей и покрытий, влияющих на эксплуатационные характеристики гидроаппаратуры. Рассмотрены перспективные направления - разработка новых материалов, оптимизация конструкций и аддитивные технологии. Предложены рекомендации по повышению эффективности и надёжности гидравлических систем через рациональный выбор материалов и технологий.

**Ключевые слова:** гидроавтоматика, гидравлические системы, конструктивные элементы, материалы, технологии изготовления, обработка поверхностей, функциональные покрытия, аддитивные технологии, надёжность, эффективность.

Гидроавтоматика играет ключевую роль в различных отраслях промышленности, обеспечивая передачу и управление энергией в системах, работающих в условиях высоких давлений и интенсивных нагрузок. Надежность, эффективность и долговечность гидравлической аппаратуры напрямую зависят от свойств материалов, используемых в ее конструктивных элементах, а также от применяемых технологий изготовления и обработки [1, 9].

Современные гидравлические системы предъявляют все более жесткие требования к своим компонентам: повышенное рабочее давление, расширенный диапазон температур, улучшенная коррозионная стойкость, минимизация утечек рабочей жидкости, снижение массы компонентов.

Стремление к увеличению мощности и уменьшению габаритов устройств требует использования материалов, способных выдерживать сверхвысокие давления. Эксплуатация в экстремальных климатических условиях диктует необходимость применения материалов, сохраняющих свои свойства в широком диапазоне температур. Работа в агрессивных средах требует использования материалов, устойчивых к коррозии и воздействию различных химических веществ. Обеспечение герметичности соединений и уплотнений является критически важным для поддержания эффективности и экологичности системы. Уменьшение веса оборудования способствует повышению его мобильности и экономичности.

В нашей работе представлен анализ современных средств, применяемых в конструктивных элементах систем гидроавтоматики, с акцентом на материалы, технологии изготовления, обработку поверхностей и функциональные покрытия. Рассмотрены перспективные направления исследований, направленные на повышение эффективности и надежности гидравлических систем. Примером таких систем может служить объемный гидропривод (рисунок 1).

Выбор материала для конкретного конструктивного элемента определяется его функциональным назначением, условиями эксплуатации и

технологическими требованиями. Основные группы материалов, используемых в гидроавтоматике, включают: сталь, чугуны, алюминиевые сплавы, титановые сплавы, полимерные материалы, керамические материалы [1, 4].

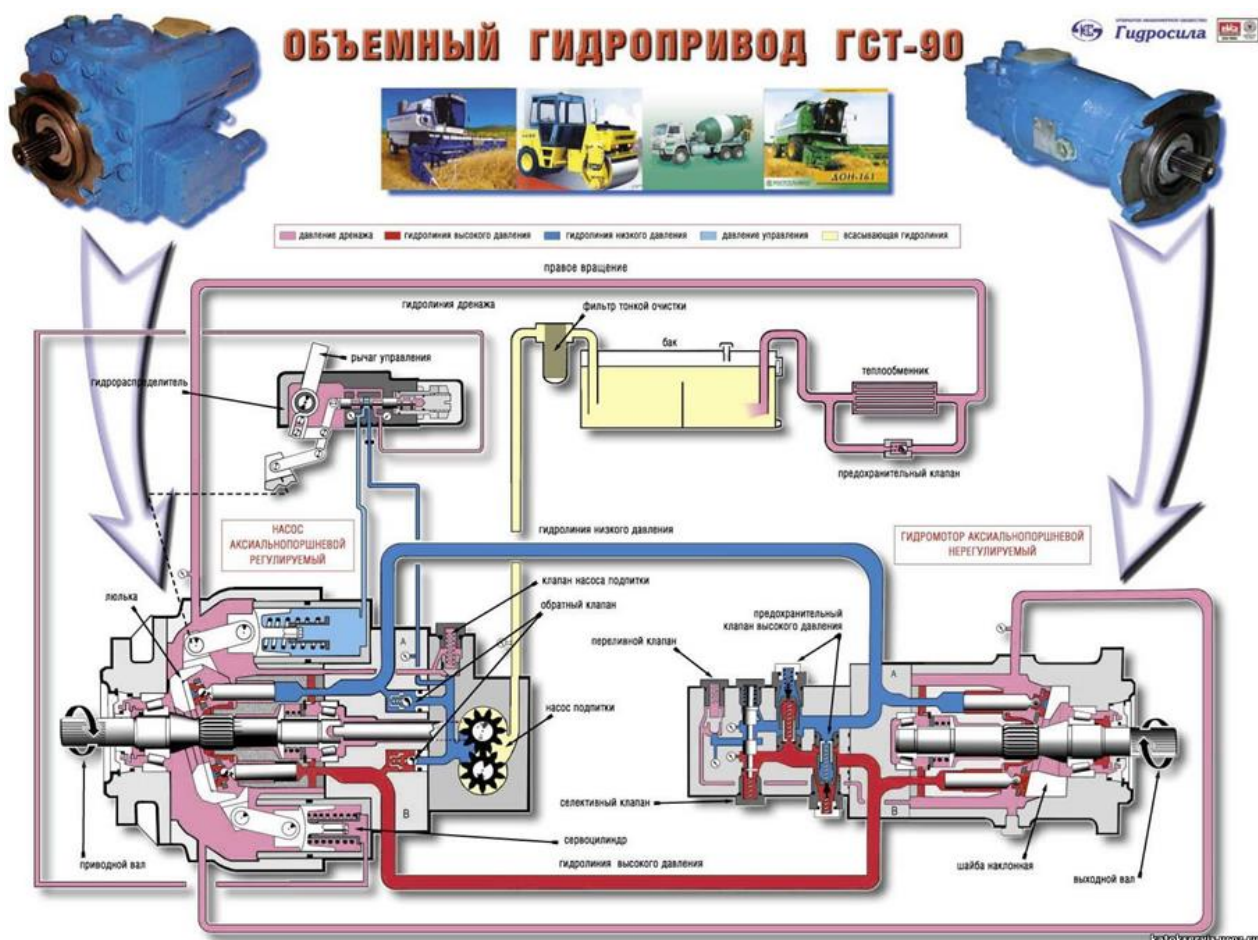


Рисунок 1 – Схема объемного гидропривода ГСТ-90 и его компоненты.

Сталь - наиболее распространенный материал для изготовления корпусов, штоков, плунжеров и других несущих элементов. Углеродистые и легированные стали обладают высокой прочностью, износостойкостью и хорошо поддаются механической обработке. Для повышения коррозионной стойкости применяют нержавеющие стали.

Чугуны - используются для изготовления корпусов и других крупногабаритных деталей, требующих высокой виброустойчивости и хорошей обрабатываемости. Модифицированные чугуны с шаровидным графитом обладают повышенной прочностью и пластичностью.

Алюминиевые сплавы - применяются для изготовления корпусов, крышек и других деталей, где требуется снижение массы. Алюминиевые сплавы

обладают хорошей коррозионной стойкостью и хорошо поддаются литью и механической обработке.

Титановые сплавы - используются в высоконагруженных компонентах, работающих в условиях высоких температур и агрессивных сред. Титановые сплавы обладают высокой прочностью, жаропрочностью и коррозионной стойкостью.

Полимерные материалы - применяются для изготовления уплотнений, манжет, втулок и других деталей, работающих на трение. Полимеры обладают хорошей эластичностью, износостойкостью и устойчивостью к воздействию рабочей жидкости. К перспективным полимерным материалам относятся полиимиды, полиэфирэфиркетоны (PEEK) и другие высокоэффективные термопласты.

Керамические материалы - используются для изготовления прецизионных деталей, работающих в условиях высоких температур и агрессивных сред. Керамика обладает высокой твердостью, износостойкостью и химической стойкостью [2].

Современные исследования направлены на разработку и применение новых перспективных материалов, обладающих улучшенными характеристиками: металлические стекла, нанокompозитные материалы, функционально-градиентные материалы, интеллектуальные материалы.

Металлические стекла (аморфные сплавы) - обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью и износостойкостью. Технология изготовления металлических стекол методом быстрого охлаждения расплава позволяет получать материалы с уникальными свойствами.

Нанокompозитные материалы - представляют собой комбинацию металлической или полимерной матрицы с наноразмерными частицами, обеспечивающими улучшенные механические, термические и электрические свойства.

Функционально-градиентные материалы (ФГМ) - материалы, свойства которых изменяются в заданном направлении. Применение ФГМ позволяет

создавать детали с оптимальным распределением свойств по объему, что повышает их надежность и долговечность.

Интеллектуальные материалы (смарт-материалы) - материалы, способные изменять свои свойства под воздействием внешних факторов (температуры, давления, магнитного поля и т.д.). Применение смарт-материалов в гидроавтоматике позволяет создавать адаптивные системы, автоматически регулирующие свои параметры в зависимости от условий эксплуатации. Примеры включают магнитореологические жидкости и сплавы с памятью формы [4].

Наряду с материалами учитывают и технологии изготовления. Технология изготовления оказывает существенное влияние на качество и характеристики конструктивных элементов. Основные технологии, применяемые в гидроавтоматике, включают: литье, механическая обработка, штамповка, сварка, аддитивные технологии.

Литье - широко используется для изготовления корпусов, крышек и других крупногабаритных деталей. Различные виды литья (литье в песчаные формы, литье по выплавляемым моделям, литье под давлением) позволяют получать детали с различными требованиями к точности и шероховатости поверхности.

Механическая обработка - точение, фрезерование, шлифование и другие виды механической обработки используются для получения деталей с высокой точностью размеров и шероховатостью поверхности.

Штамповка - используется для изготовления серийных деталей простой формы из листового металла.

Сварка - используется для соединения отдельных деталей в сложные конструкции.

Аддитивные технологии (3D-печать) - перспективное направление в производстве деталей сложной геометрии из различных материалов (металлов, полимеров, керамики). Аддитивные технологии позволяют сократить сроки

разработки и изготовления, а также создавать детали с оптимизированной конструкцией [3].

Аддитивные технологии, такие как селективное лазерное спекание (SLS) и прямое лазерное выращивание (DED), открывают новые возможности для конструирования и производства гидравлических компонентов. Преимущества применения аддитивных технологий включают: свобода дизайна, сокращение отходов материала, быстрое прототипирование, индивидуализация производства, интеграция функциональности.

Свобода дизайна - возможность создания деталей сложной геометрии с оптимизированными внутренними каналами и полостями.

Сокращение отходов материала - использование материала только в тех местах, где он необходим.

Быстрое прототипирование - возможность оперативно создавать и тестировать прототипы новых конструкций.

Индивидуализация производства - возможность изготовления деталей под конкретные требования заказчика.

Интеграция функциональности - возможность интеграции нескольких функций в одной детали, например, объединение корпуса и клапана. [5]

Однако, применение аддитивных технологий в гидроавтоматике требует решения ряда проблем, связанных с обеспечением необходимой точности размеров, шероховатости поверхности и плотности материала. Необходимы дальнейшие исследования в области разработки новых материалов для 3D-печати, оптимизации технологических режимов и методов постобработки.

Обработка поверхностей и нанесение функциональных покрытий позволяют улучшить эксплуатационные характеристики конструктивных элементов, такие как износостойкость, коррозионная стойкость и гидрофобность. Основные методы обработки поверхностей включают: раструбная обработка, полирование, шлифование, суперфиниширование, гальванические покрытия, химические покрытия, термические покрытия, вакуумные покрытия, полимерные покрытия.

Раструбная обработка (дробеструйная, пескоструйная) - используется для удаления окалины, ржавчины и других загрязнений с поверхности, а также для создания поверхностного слоя с повышенной твердостью.

Полирование - используется для получения гладкой поверхности с низкой шероховатостью.

Шлифование - используется для получения точной геометрии поверхности и заданной шероховатости.

Суперфиниширование - используется для получения сверхгладкой поверхности с минимальным коэффициентом трения.

Основные виды функциональных покрытий включают:

- гальванические покрытия (хромирование, никелирование, цинкование) - используются для защиты от коррозии и повышения износостойкости;

- химические покрытия (оксидирование, фосфатирование - используются для защиты от коррозии и улучшения адгезии лакокрасочных покрытий;

- термические покрытия (плазменное напыление, газопламенное напыление, детонационное напыление) - используются для создания износостойких, жаростойких и коррозионностойких покрытий;

- вакуумные покрытия (ионно-плазменное напыление, магнетронное распыление) - используются для создания тонких пленок с заданными свойствами (твердость, износостойкость, оптические свойства);

- полимерные покрытия (эпоксидные, полиуретановые) - используются для защиты от коррозии и воздействия химических веществ [6].

Развитие нанотехнологий открывает новые возможности для создания покрытий с уникальными свойствами. Нанопокрyтия и наномодификация поверхности позволяют улучшить эксплуатационные характеристики конструктивных элементов за счет: повышенной твердости и износостойкости, сверхнизкого коэффициента трения, супергидрофобности, улучшенной коррозионной стойкости, биосовместимости.

Надежность и долговечность являются ключевыми параметрами, определяющими эффективность и безопасность гидравлических систем. При

проектировании и изготовлении конструктивных элементов необходимо учитывать следующие факторы: выбор материалов, расчет на прочность, обеспечение герметичности, контроль качества изготовления, испытания [10-12].

Выбор материалов - необходимо выбирать материалы, обладающие достаточной прочностью, износостойкостью и коррозионной стойкостью в условиях эксплуатации.

Расчет на прочность - необходимо проводить расчет на прочность и деформацию конструктивных элементов с учетом действующих нагрузок и температурных условий.

Обеспечение герметичности - необходимо обеспечивать герметичность соединений и уплотнений для предотвращения утечек рабочей жидкости.

Контроль качества изготовления - необходимо осуществлять контроль качества изготовления на всех этапах производства, от выбора материалов до финальной сборки.

Испытания - необходимо проводить испытания готовых изделий для подтверждения их соответствия требованиям технических условий [3-7]

Существуют различные методы повышения надежности и долговечности конструктивных элементов: применение упрочняющих технологий обработки поверхностей, использование демпфирующих элементов, применение систем фильтрации рабочей жидкости, проведение регулярного технического обслуживания, использование систем мониторинга технического состояния.

Применение упрочняющих технологий обработки поверхностей (наклеп, поверхностное пластическое деформирование) - увеличивает предел усталости и сопротивление износу.

Использование демпфирующих элементов - снижает уровень вибрации и шума в системе.

Применение систем фильтрации рабочей жидкости - предотвращает попадание загрязнений в систему, снижает износ деталей и увеличивает срок службы рабочей жидкости.

Проведение регулярного технического обслуживания - обеспечивает своевременное выявление и устранение дефектов.

Использование систем мониторинга технического состояния - позволяет контролировать параметры работы системы и прогнозировать возникновение неисправностей [7-8].

Анализ современных средств, применяемых в конструктивных элементах систем гидроавтоматики, показывает, что ключевыми направлениями развития являются:

- разработка и применение новых материалов с улучшенными характеристиками (металлические стекла, нанокompозитные материалы, функционально-градиентные материалы);
- использование аддитивных технологий для производства деталей сложной геометрии с оптимизированной конструкцией;
- создание функциональных покрытий с заданными свойствами (твердость, износостойкость, коррозионная стойкость, гидрофобность);
- внедрение современных методов обработки поверхностей, обеспечивающих высокую точность и качество;
- применение современных методов анализа надежности и долговечности для оптимизации конструкции и выбора материалов.

Перспективы развития гидроавтоматики связаны с созданием интеллектуальных систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации [9]. Внедрение смарт-материалов, систем мониторинга технического состояния и методов машинного обучения позволит повысить эффективность, надежность и безопасность гидравлических систем.

### **Список литературы**

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х томах. М.: Машиностроение. 2001.
2. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. М.: Машиностроение. 1982.

3. Гамаюнов И.И., Лукаш П.А. Гидравлика и гидропневмопривод. Минск: Высшэйшая школа. 1998.
4. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение. 1978.
5. Точильников Д.Г., Яхно О.М. Гидропривод машин. М.: Машиностроение. 1988.
6. Щеглов Б.А., Кущев Л.А. Гидравлические и пневматические системы. М.: Академия, 2010.
7. Li, Y., Zhou, J., Zhang, W., Yan, C., & Liu, W. (2017). Additive manufacturing of hydraulic components: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1-4), 409-422.
8. Колдин М. С., Тишков Д. В. Использование возобновляемых источников энергии на примере работы гидравлических устройств // Наука и Образование. 2019. Т. 2. № 4. С. 231. EDN UD0FKZ.
9. Методика и этапы основных стадий проектирования / С. В. Бородкина, Д. С. Невзоров, А. Е. Полосина, М. С. Колдин // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, Мичуринск-наукоград, 26–28 октября 2022 года / Под общей редакцией И.П. Криволапова. Мичуринск-наукоград: Мичуринский государственный аграрный университет. 2022. С. 22-25. EDN QDLFRL.
10. Контроль качества продукции на стадиях ее жизненного цикла / С. В. Бородкина, А. Е. Хубаева, Д. С. Невзоров, М. С. Колдин // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 2. EDN EXH1NB.
11. Хубаева А. Е., Бородкина С. В., Колдин М. С. САПР в компьютерно-интегрированном производстве (КИП) // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 2. EDN UDJEBZ.
12. Хубаева А. Е., Колдин М. С., Ланцев В. Ю. Роль САПР в жизненном цикле продукта // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 3. С. 148. EDN BAABHP.

UDC 654.36

## SYSTEMIC APPROACH IN IMPROVING THE PROPERTIES OF STRUCTURAL ELEMENTS OF HYDRAULIC AUTOMATION SYSTEMS

**Mikhail S. Koldin**

candidate of technical sciences, associate professor

koldinms@yandex.ru

**Nikita An. Pogorelov**

student

nik.pogorelov.05@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Abstract.** The article analyzes the means and elements of hydraulic automation systems, including materials, manufacturing technologies, surface treatment methods, and coatings that affect the performance of hydraulic equipment. The article also discusses promising areas such as the development of new materials, optimization of designs, and additive technologies. The article provides recommendations for improving the efficiency and reliability of hydraulic systems through the rational selection of materials and technologies.

**Keywords:** hydraulic automation, hydraulic systems, design elements, materials, manufacturing technologies, surface treatment, functional coatings.

Статья поступила в редакцию 01.11.2025; одобрена после рецензирования 20.12.2025; принята к публикации 29.12.2025.

The article was submitted 01.11.2025; approved after reviewing 20.12.2025; accepted for publication 29.12.2025.