

# КАИМОВ АБЫЛАЙ ТАЛҒАТУЛЫ

## РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ПРИВОДА СХВАТА РОБОТА С ОГРАНИЧЕННЫМ УСИЛИЕМ

### АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени  
доктора философии (PhD) по специальности  
6D060300 – «Механика»

**Актуальность темы исследования.** Промышленный робот содержит в своем составе: механическую часть в виде исполнительного механизма с схватом, и электронную в виде системы управления. Кроме того имеются приводы, для выполнения закона движения рабочего органа (схвата) робота, по заданному управлению Рабочий орган (схват) робота выполняет основные технологические операции (захват, сверление, фрезеровка и.т.д). Схват робота является основным исполнительным органом робота. Схват предназначен для захвата различных по форме и составу изделий, и число различных типов схвата достигает несколько тысяч.

В работе проведены исследования различных схватов машин и роботов (обрабатывающих, грузоподъемных, сельскохозяйственных, горно-добывающих и.т.д). Приводятся структурные и кинематические схемы схватов.

В работах исследован процесс захвата, ориентации и погрешности схватов. Предложены модульные схемы исполнения схватов. Однако в этих работах отсутствуют методы повышения универсальности схватов и пути создания инновационных схватов. Для уменьшения затрат на создание новых схватов, необходимы новые методы их конструирования.

Почти во всех известных устройствах схвата робота один и тот же двигатель используется для перемещения рабочих элементов схвата и для создания усилия захватывания. В типовых видах схвата робота, для процесса захватывания детали и создания необходимого усилия для удержания, применяется один общий двигатель. Но в настоящее время эти операции стараются разделить, и двигатель используется на процесс захватывание, а деталь удерживается за счет упругих элементов или магнитов. Значимой характеристикой схвата, является передаточное отношение его привода, которое влияет на номинальное усилие захватывания.

В работе предлагается разделить схваты, для унификации, на функциональную и конструктивную части, что дает возможность синтеза различных видов схватов на базе типовых механизмов. Широкое распространение получили роботы с электромеханическими приводами. В большинстве своем, их схваты приводятся в движение пневмоприводами.

Пневмоприводы имеют большое быстродействие по сравнению с электроприводами, в следствии низкой инерционностью и отсутствием тяжелых редукторов. Но применение электропривода имеет свои достоинства: простота конструкции и управления, возможность создания унификации и быстрой автоматической замены, отсутствие подвода воздуха большого давления. Достоинством применения электропривода в схвате, является высокая точность и грузоподъемность, при работе в условиях больших динамических нагрузок.

Обычно в приводах схвата робота, в качестве исполнительного механизма применяются рычажный механизм и механизм винт-гайка, которые соединяются с электродвигателем через редуктор и муфту. Основное требование к схвату, при отключении электродвигателя, недопустимость обратного хода. Поэтому в приводах схвата применяются различные устройства для устранения данного процесса: блокираторы, тормоза, храповики и.т.д. Недостатком данных устройств является их низкая надежность, повышенная масса и размеры. Для электропривода схвата широко применяются малогабаритные электродвигатели (постоянного тока, синхронные, асинхронные, коллекторные) мощностью до 1 кВт, номинальными оборотами до 3000 об/мин и номинальными вращающими моментами до 10 н·м. Широкое применение в электроприводе схвата, получили малогабаритные электродвигатели постоянного тока, которые применяются для создания быстродействующих систем управления.

В настоящее время в роботах используются электрические и гидравлические приводы с одной степенью свободы. Такой привод обеспечивает однозначную связь между входным и выходным движением. Однако для преодоления переменной силы сопротивления необходимо использовать переменное передаточное отношение между входом и выходом. Регулируемый привод должен включать управляемую коробку передач. Такой привод противоречит требованию минимизации веса и размеров модулей робота. Существующие электрические и гидравлические системы имеют «жесткую» связь между движением входного и выходного поршней. Выходное звено движется с постоянной скоростью. В приводах машин необходимо использовать механические и гидравлические механизмы с переменной скоростью движения выходного поршня, соответствующей переменной нагрузке. Для этой цели используются различные системы управления.

В работе предлагается для гидравлических цилиндров адаптивная схема управления выходной силой с помощью прямого измерения выходной силы через тензодатчики. Из-за большой и несколько неопределенной силы трения поршня, цилиндр управления давлением в камере с предсказанием Кулона-вязкого трения не может быть достаточным, чтобы добиться точного контроля выходной силы. В предлагаемом подходе, погрешность выходной силы в результате прямого измерения используется не только для управления с обратной связью, но и для обновления параметров соответствующей

модели трения, который включает Кулона-вязкой силы трения в скользящее движение и выходной силы в зависимости от силы трения в скользящем движении. Стабильность гарантируется как ошибка силы давления и погрешность выходной силы. Под ограничением требуемой выходного силы и ее производной, асимптотической устойчивости как ошибки сила давления и ошибки на выходе заставляют также гарантироваться. Экспериментальные результаты показывают, что хорошая система управления силой давления не обязательно гарантирует хороший контроль выходного усилия, и что адаптивная компенсация трения превосходит компенсации трения фиксированных параметров. Отличное управление производительностью выходной силы (совместно с крутящим моментом) подразумевает динамическую эквивалентность между гидравлическим цилиндром и электроприводом для предварительно заданных полос пропускания. Это позволяет гидравлическому приводу робота успешно конкурировать с электроприводом робота. Однако, такая система управления оказывается слишком сложной, и не гарантирует адекватной работы.

Профессор Иванов К.С. ранее выполнил теоретические исследования адаптивного к силе механизма. Адаптивный механизм имеет две степени свободы, и осуществляет силовой адаптацию к переменной внешней нагрузке. Адаптивный механизм приспособливается к переменной внешней нагрузке и работает без системы управления. Адаптивный привод работает без коробки передач и без системы управления. Целесообразно применить адаптивный механизм для привода схвата робота, преодолевающего переменную технологическую нагрузку.

Особенно это актуально для схватов для перегрузки грузов с тонкой «деликатной» наружной поверхностью, такой как, агро-садоводческая продукция (помидоры, яблоки, огурцы и др.). После сбора урожая необходимо провести отбор и упаковку при помощи автоматических линий. Однако при упаковке агро-садоводческой продукции, в основном применяется ручной труд. Для автоматизации задач сбора и упаковки агро-садоводческой продукции, необходимо повышение эффективности работы схватов при работе с таким видом продуктов без повреждений. Данные технологические операции в настоящее время выполняются вручную и/или с применением сложных систем управления схватом робота, что приводит к повышению удорожанию продукции. Схват является наиболее важным узлом робота в процессе работы с агро-садоводческой продукцией, так как он выступает в качестве важного промежуточного органа между роботизированной системой и продуктом.

**Общая характеристика работы.** В работе рассмотрены вопросы анализа и синтеза структурных, кинематических и силовых характеристик адаптивного привода схвата робота с ограниченным усилием на основе использования теории силовой адаптации для перегрузки грузов.

**Целью работы** является разработка и выбор параметров адаптивного привода схвата робота, обеспечивающего схватывание объектов без повреждений.

**Основная идея** работы заключается в использовании эффекта силовой адаптации привода схвата робота с ограниченным усилием на основе теории силовой адаптации механизмов с двумя степенями свободы

**Объектом исследования** являются приводы схватов роботов.

**Предмет исследования** – адаптивные приводы схватов роботов для перегрузки агро-садоводческой продукции, имеющих тонкую «деликатную» наружную поверхность.

Для выполнения указанной цели необходимо решить взаимосвязанные между собой следующие задачи исследования:

- провести анализ адаптивных механизмов;
- разработать методику анализа и синтеза адаптивного зубчатого механизма;
- разработать методику расчета адаптивного привода схвата робота;
- разработать динамическую модель адаптивного привода схвата робота;
- провести выбор и обоснование структурно-кинематических параметров схвата робота для перегрузки агро-садоводческой продукции;
- разработать трехфаланговый схват робота для перегрузки агро-садоводческой продукции;
- провести экспериментальные исследования адаптивного зубчатого механизма;
- провести экспериментальные исследования адаптивного привода схвата робота для перегрузки агро-садоводческой продукции;
- провести автоматизацию процесса упаковки помидоров при помощи робота с трехфаланговым схватом с адаптивным приводом.

**Методы исследования:** теоретические исследования проводились на основе классических методов исследования механизмов и машин (кинематика, силовой анализ, динамика) и теории силовой адаптации механизмов с двумя степенями свободы профессора Иванова К.С. с использованием алгоритмов исследования и проектирования на ЭВМ. В работе принят комплексный метод исследования, включающий анализ и обобщение выполненных ранее исследований и технических решений, теоретические и экспериментальные исследования на физических моделях. Методы математического анализа, методы теоретической механики и методы исследования механизмов и машин применялись для аналитических исследований. При экспериментальных исследованиях применялись методы численного анализа и компьютерного моделирования с применением программного комплекса SimulationX, методы тензометрии с цифровыми датчиками.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

- проведен анализ адаптивных механизмов, для использования в качестве привода схвата робота;

- разработана методика анализа и синтеза адаптивного зубчатого механизма и спроектирован его прототип;
- разработана методика расчета адаптивного привода схвата робота;
- проведено динамическое исследование адаптивного привода схвата робота;
- определены основные структурно-кинематические параметры схвата робота для перегрузки агро-садоводческой продукции;
- спроектирован трехфаланговый схват робота для перегрузки агро-садоводческой продукции и изготовлен его прототип;
- проведены экспериментальные исследования адаптивного зубчатого механизма;
- проведены экспериментальные исследования адаптивного привода схвата робота, для перегрузки агро-садоводческой продукции.
- проведена автоматизация процесса упаковки помидоров при помощи робота с трехфалангового схвата с адаптивным приводом.

**Теоретическая и практическая значимость исследований.** Полученные в работе результаты и методики создания и расчета адаптивного привода схвата робота для перегрузки агро-садоводческой продукции, на основе адаптивного зубчатого механизма могут быть использованы при проведении теоретических исследований для широкого класса схватов роботов. Практическая значимость работы состоит в методике проведения экспериментального исследования адаптивного привода схвата робота для перегрузки агро-садоводческой продукции. Кроме того, представляет практический интерес, проведенная автоматизация процесса упаковки помидоров при помощи робота с трехфалангового схвата с адаптивным приводом. Результаты экспериментальных исследований будут полезны при разработке различных видов схватов роботов, требующих адаптации при операции захвата продукта.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- методика анализа и синтеза адаптивного зубчатого механизма;
- методика расчета адаптивного привода схвата робота;
- динамическая модель адаптивного привода схвата робота;
- методика экспериментальных исследований адаптивного привода схвата робота, для перегрузки агро-садоводческой продукции.
- автоматизация процесса упаковки помидоров при помощи робота с трехфалангового схвата с адаптивным приводом.

**Достоверность и обоснованность научных положений,** выводов и результатов диссертации подтверждается правильной постановкой задачи и применением известных математических методов, методов теоретической механики, методов исследования механизмов и машин, и методов экспериментальных исследований.

**Связь диссертационной работы** с другими научно-исследовательскими работами. Данная диссертационная работа выполнялась по грантовому научному проекту МОН РК 2020-2021 годы «Разработка

конструкций привода штанговых насосных установок для нефтегазовой промышленности» (ИРН проекта: AP08052127).

**Апробация работы.** Основные результаты и выводы по диссертационной работе докладывались и обсуждались на научных мероприятиях:

– научные семинары Кафедры механики механико-математического факультета КазНУ им. аль-Фараби и Института механики и машиноведения им. академика У.А. Джолдасбекова и (г. Алматы, 2015-2018гг.);

– Международный научный семинар «Актуальные проблемы инженерной механики», посвященный 95-летию академика АН КазССР, д.т.н., проф., заслуженного деятеля науки Казахстана Ж.С. Ержанова (г. Алматы, 18-19 июля 2017г.);

– Международная конференция «Зеленый Мост — платформа партнерства для передовых практик инноваций», ЭКСПО-2017, Астана, РК, 2017;

– Международная научно-практическая конференция Академии наук РК, Алматы, РК, 2017;

-Всемирный Конгресс инженеров и ученых «Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации» WSEC-2017, (г. Астана, 19-20 июня 2017);

– Международная научная конференция «4th IFToMM Symposium on Mechanism Design for Robotics» (Удина, Италия, 11-13 сентября 2018 г.);

– Международная научная конференция «Slovak international Conference», Словакия, 2018 г;

– Международная научно-практической конференции «Актуальные проблемы информатики, механики и робототехники. Цифровые технологии в машиностроении», г. Алматы, 2018 г.

– Международная конференция «2nd International Conference of IFToMM Italy, IFIT 2018» (г. Кассино, Италия, 29-30 ноября 2018 г.);

– Второй Международный Джолдасбековский Симпозиум «Механика будущего», Институт механики и машиноведения им.академика У.Джолдасбекова (г. Алматы, 2021г.)

**Публикации.** По теме диссертационной работы автором было опубликовано более 30 работ, их которых 8 публикаций в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК для публикации основных результатов научной деятельности; 9 публикаций в научных журналах и трудах международных конференций, входящих в базу данных Scopus; 9 публикаций в трудах отечественных и зарубежных научных международных конференциях, 4 патента.

**Структура диссертации и объем.** Диссертация содержит титульный лист, содержание, введение, пять глав, заключение, список использованных источников и приложений. Общий объем диссертации 76 страниц.

**Основное содержание диссертации.** Во введении показана актуальность диссертационной работы, обозначена постановка задачи и этапы их решения.

**Первый раздел** посвящен современному состоянию методов анализа и синтеза адаптивного зубчатого механизма. Приведено обоснование выбора конструкции и адаптивного зубчатого механизма. Проведен кинематический, силовой анализ и синтез адаптивного зубчатого механизма.

**Во втором разделе** рассматривается анализ адаптивных приводов схватов робота. Разработана и обоснована конструкция адаптивного привода схвата робота, на основе адаптивного зубчатого механизма. Разработана динамическая модель адаптивного привода схвата робота на программном комплексе SimulationX.

**В третьем разделе** проводится разработка схвата робота для перегрузки агро-садоводческой продукции. Получены структурно-кинематические параметры схвата робота для перегрузки агро-садоводческой продукции. Разработан трехфаланговый хват робота для перегрузки агро-садоводческой продукции.

**В четвертом разделе** приводятся экспериментальные исследования адаптивного привода схвата робота для перегрузки агро-садоводческой продукции. Проведены экспериментальные исследования адаптивного зубчатого механизма. Показаны экспериментальные исследования адаптивного привода схвата робота для перегрузки агро-садоводческой продукции.

**В пятом разделе** рассматривается разработка автоматизация процесса упаковки помидоров при помощи робота с трехфалангового схвата с адаптивным приводом. Приведены экспериментальные исследования установки роботизированной ячейки для упаковки помидоров.

**Личный вклад автора.** Основные результаты исследований, проведенных в диссертационной работе, получены автором самостоятельно.

В диссертационной работе соискатель обосновал расположения удерживающих губок схвата робота для перегрузки агро-садоводческой продукции. В статьях соискатель обосновал структурно-кинематическую схему исполнительного механизма рабочего органа машины. В работе соискатель провел теоретические и экспериментальные исследования трехфалангового адаптивного схвата робота при захвате цилиндрических и сферических объектов. В работе соискателем получена структурно-кинематическая конструкция двухфалангового адаптивного схвата, на который получен патент на изобретение.