КАИМОВ СУЛЕЙМЕН ТАЛГАТОВИЧ

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ С АДАПТИВНЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ ЗАХВАТА, ИМИТИРУЮЩЕГО ДВИЖЕНИЯ РУКИ ЧЕЛОВЕКА

АННОТАЦИЯ

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

Актуальность темы исследования. Как известно, для решения актуальной современной проблемы улучшения климата на Земле, для решения которой в декабре 2015 года в Париже состоялась конференция ООН, на которой всем странам мира было рекомендовано принять свои национальные программы по снижению выбросов парниковых газов в атмосферу Земли для улучшения климата. В связи с данными обстоятельствами каждый гражданин РК должен стремиться предложить инновационные технические, техногенные решения, направленные на совершенствование технологических процессов производства промышленной и др. продукции в стране, главнейшей из которых является генерация электроэнергии. Одним из актуальных и перспективных направлений совершенствования технологии производства электроэнергии является часть ее, получаемая при эксплуатации атомной электростанции (АЭС), работающей на ядерном топливе, созданном из урансодержащих минералов, например, уран и др., геологические запасы которых в РК являются значительными в мире. РК занимает 1-2 место по запасам урансодержащих минералов среди всех стран мира.

В настоящий период времени АЭС эксплуатируется в 30 странах мира, где электроэнергия вырабатывается на 401 реакторе. При этом количество электроэнергии, вырабатываемой на АЭС в странах мира, составляет 5,6% от всего его количества, вырабатываемой в мире. При эксплуатации АЭС в атмосферу Земли не выбрасываются парниковые газы, что является несомненным ее преимуществом. Но, после окончания эксплуатации АЭС образуются твердые высокорадиоактивные отходы (ТВРАО), являющиеся чрезвычайно опасными для животного и растительного мира на Земле. За десятки лет эксплуатации АЭС в разных странах мира не созданы 100 – процентов безопасные способы захоронения ТВРАО

В Казахстане еще не построено ни одной АЭС. Атомная энергетика Казахстана имеет значительные перспективы для развития. Казахстан обладает большими сырьевыми запасами урановых руд. В республике развита инфраструктура для проведения фундаментальных и прикладных исследований, созданы высокотехнологичные и наукоемкие центры, такие

как Национальный ядерный центр в Курчатове, институты ядерной физики и радиационной безопасности, обладающие современной лабораторно-промышленной базой, включая установки «Токомак». На Ульбинском металлургическом заводе отработана технологическая цепочка, которая включает производство ядерного топлива (урановых таблеток), а в перспективе - и топливах сборок для ядерных реакторов атомных станций.

Правительство Республики Казахстан в 2002 г. приняло концепцию развития урановой промышленности и атомной энергетики на 2002-2030 годы, которая направлена на значительное преобразование энергетики Казахстана динамично развивающую отрасль, которая может стать надежной основой для развития экономики и повышения благосостояния народа. Сегодня Казахстан занимает первое место в мире по добыче урана и второе место по объемам запаса, обладает 19% мировых разведанных запасов урана. Уранодобывающая и перерабатывающая промышленности Республики дают возможность для выполнения исследований в области ядерной физики и ядерной энергетики.

В Казахстане на берегу Каспийского моря с 1972 г. до ее остановки в 1999 г. успешно работала атомная электростанция с реактором БН-350, ее тепловая мощность была 650 МВт, а электрическая - до 120 МВт. Она использовалась также для опреснения морской воды. Имея опыт эксплуатации 25 лет 10 месяцев, Казахстан сейчас планирует построить одну или две атомных электростанций средней мощности.

Применение атомной энергетики сопровождается рисками радиационного внутреннего и внешнего облучения человека и ухудшения экологии окружающей среды. Этот вид выработки электроэнергии ведет к образованию и накоплению радиоактивных отходов (РАО), поскольку на современном этапе существования цивилизации человечество не владеет инструментами и методами превращения радиоактивной субстанции в нерадиоактивную, поэтому при работе АЭС необходимо создать условия, чтобы максимально уменьшить объем образующихся РАО, перевести их в инертную форму и надежно изолировать их от биосферы. И для развитых стран, и для стран с развивающейся ядерной инфраструктуры обращение с РАО является одним из приоритетных направлений научных исследований и технических разработок

Целью диссертационной работы является разработка и создание адаптивного схвата дистанционно управляемого мобильного робота для перегрузки ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов и др. из промежуточного контейнера с ТВРАО в полость (полости) основного контейнера.

Объект исследования составляет промышленные роботы.

Предметом исследования являются адаптивные схваты для перегрузки ТВЭЛ-ов АЭС.

В связи с поставленной целью вытекают следующие **задачи исследования:**

– исследование обеспечения надежного захвата ТВЭЛ-а фалангами схвата;

– выбор и обоснование геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров адаптирующегося схвата дистанционно управляемого мобильного робота для перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера с ТВРАО в полость (полости) основного контейнера, изготовленного из блока крепкой горной породы;

– разработка математического метода и компьютерной модели выбора и обоснования геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров адаптивного схвата;

– выбор и обоснование геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров исполнительного механизма адаптивного схвата с учетом условий стохастической среды его функционирования;

– выбор и обоснование архитектуры дистанционно управляемого мобильного робота с адаптивным схватом для перегрузки ТВЭЛ-а;

– разработка и создание физического прототипа дистанционно управляемого мобильного робота с адаптивным схватом для перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера с ТВРАО в полость (полости) основного контейнера, изготовленного из блока крепкой горной породы и его программная реализация.

Методы исследования: методы теоретической механики и теории механизмов и машин, теории упругости и динамики элементов и конструкций; математические методы анализа и моделирования физико-технологических процессов, теория вероятностей и математическая статистика, теория игр, численные методы и теория передачи информации и цифровые технологии.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– разработаны научно-обоснованные критерии для выбора структурных и кинематических параметров адаптивного схвата дистанционно управляемого мобильного робота для перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера с ТВРАО в полость (полости) основного контейнераой породы;

– разработан математический метод и компьютерная модель выбора и обоснования геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров адаптивного схвата с учетом условий стохастической среды его функционирования;

– разработаны и созданы конструкции трехфалангового и двухфалангового адаптивных схватов дистанционно управляемого мобильного робота для перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера с ТВРАО в полость (полости) основного контейнера, изготовленного из блока крепкой горной породы;

– разработана и создана физическая модель дистанционно управляемого мобильного робота с адаптивным схватом, успешно протестированного в лабораторных условиях для перегрузки разных форм грузов;

– разработано программное обеспечение системы дистанционного управления мобильным роботом для перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера с ТВРАО в полость (полости) основного контейнера.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Полученные в работе результаты и сама концепция повышения точности геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров адаптивного схвата с учетом стохастической среды его функцнирования являются новыми, представляют научный и практический интерес и могут быть непосредственно применены в инженерии не только в Республике Казахстан, но и в других странах мира. По теме диссертации опубликовано более 17 научных работ, опубликованных в отечественных и зарубежных научных изданиях.

Научные положения, выносимые на защиту:

– научно-обоснованный метод выбора структурных и кинематических параметров адаптивного схвата дистанционно управляемого мобильного робота с учетом условий стохастической среды его функционирования;

– математический метод и компьютерная модель выбора и обоснования геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров адаптивного схвата;

– инновационные конструкции трехфалангового и двухфалангового адаптивных схватов дистанционно управляемого мобильного робота для перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера с ТВРАО в полость (полости) основного контейнера, изготовленного из блока крепкой горной породы;

– физическая модель дистанционно управляемого мобильного робота с адаптивным схватом, успешно протестированного в лабораторных условиях для перегрузки разных форм грузов.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов диссертации подтверждается использованием известных положений, принципов и методов механики и математики и согласованием полученных теоретических результатов с экспериментальными исследованиями.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях:

– Всемирном Конгрессе инженеров и ученых. «Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации». WSEC-2017. (г.Астана, 19-20 июня. Том 2;

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

– 4-й симпозиум Механики и робототехники международная научная конференция «4th IFToMM Symposium on Mechanism Design for Robotics» (Удине, Италия, 11-13 сентябрь 2018 г.);

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

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

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

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

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

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

Публикации. По теме диссертации автором было опубликовано 17 работ, среди которых 3 публикации в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК для публикации основных результатов научной деятельности; 4 публикаций в научных журналах и трудах международных конференций, индексируемых базой данных Scopus ; 10 публикаций в трудах зарубежных и отечественных научных конференций, 1 патент «Бульдозерное устройство», где при его создании были использованы разработанные автором методы оценки параметров его исполнительного механизма с учетом условий стохастической среды его функционирования; получена приоритетная справка на изобретение «Механическая рука».

Личный вклад автора. Основные результаты исследований, проведенных в рамках диссертационной работы, получены автором самостоятельно.

В статье [2] соискателем разработан математический метод расчета параметров основных конструктивных элементов трехфалангового адаптивного свата манипулятора промышленного робота, с учетом стохастических условий его функционирования условий на примере расчета параметров его удерживающего зуба. А соавтору Каимову Абылаю принадлежат результаты по обоснованию расположения удерживающих зубьев фаланг рычагов схвата промышленного робота при их взаимодействии с оболочкой наружного участка тепловыделяющего элемента ядерного реактора атомной электростанции.

В статьях [32], [33] [34], [35], [39], [40], [42] соискатель приводит результаты реализации разработанного им метода повышения точности оценки параметров исполнительного механизма рабочего органа машины, заключающийся в рационализации его основных конструктивных на

примере конструкции исполнительного механизма отвала бульдозера с учетом стохастических условий его функционирования. А соавтору Каимову Абылаю принадлежат результаты по обоснованию структурно-кинематической схемы исполнительного механизма отвала бульдозера со съемным режущим ножом разрушения участка массива грунта

В статьях [23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 43, 44, 59, 60, 61, 62] соискателем представлены математические методы по выбору и обоснованию геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров адаптивного схвата и их компьютерные 3D модели. Выбраны и обоснованы различные варианты структурно-кинематических схем адаптивного схвата робота для перегрузки ТВЭЛ-ов. Разработаны компьютерные 3D модели при перегрузке ТВЭЛ-ов из транспортного контейнера в основной. Установлены зависимости между усилиями захвата ТВЭЛ-а от геометрических параметров адаптивного схвата. Проведены расчеты на прочность и жесткость элементов его конструкции. Там же представлена оригинальная математическая модель расчета геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров исполнительного механизма адаптивного схвата робота для перегрузки ТВЭЛ-ов с учетом стохастической среды технологического процесса их перегрузки из транспортного контейнера в основной. Идея методология базируется на системном подходе, при котором совокупность исполнительного механизма адаптивного схвата с ТВЭЛ-ом рассматривается как единая система взаимосвязанных и взаимодействующих элементов. А соавтор Каимов Абылай участвовал в проведении экспериментальных исследований и ему принадлежат результаты по математической обработке эмпирических результатов экспериментальных исследований и им построена регрессионная функция корреляции случайного процесса изменения силы захватывания перегружаемого объекта от геометрических параметров трехфалангового адаптивного схвата манипулятора ПР при осуществлении им стохастических процессов его взаимодействия с ТВЭЛ-ом, перегружаемого из промежуточного контейнера в основной контейнер.

В работе [25] соискателем разработана конструкция двухфалангового адаптивного схвата, на которое получено положительное решение на выдачу патента на изобретение. Соавтором Каимовым Абылаем разработана его структурно-кинематическая схема.

В статье [36] представлены результаты реализации математического метода построения перспективного облика технического объекта, разработанного соискателем, на примере построения перспективного облика математической модели бульдозера. Соавтором Каимовым Абылайем эта научная идея была реализована и им был построен перспективный облик математической модели бульдозера. На основе полученных результатов соискателем был построен перспективный облик дистанционно управляемого мобильного робота с адаптивным схватом.

В работе [39] соискателем разработана конструкция исполнительного механизма отвала бульдозера для разрушения грунтов с учетом стохастических условий его функционирования. На эту конструкцию получен инновационный патент Республики Казахстан. Соавтором Каимовым Абылаем была предложена структурно-кинематическая схема исполнительного механизма отвала бульдозера.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа включает титульный лист, содержание, список обозначений и сокращений, введение, четыре раздела, заключение и список использованных источников, состоящий из 62 наименования. Общий объем диссертации составляет 107 страниц, включая 55 иллюстраций и 15 таблиц.

Основное содержание диссертации. Во введении отражены обоснование актуальности темы диссертационной работы, цель, объект, предмет, задачи исследования, используемые методы, обоснование научной новизны работы, ее теоретической и практической значимости, научные положения, выносимые на защиту, количество имеющихся публикаций, сведения об апробации работы и степени ее разработанности.

В первом разделе дается постановка задачи и проводится анализ работ предшественников по обеспечению надежного удержания в схвате ТВЭЛ-а при учете двух противоречивых требований: ограниченности упругих перемещений (или искажений формы) тонкостенного объекта и обеспечения запаса несущей способности схвата при переносе. Эта задача рассматривается для кругового кольца. Рассматриваются задача захватывания кругового кольца двумя, тремя рабочими элементами. Затем рассматриваются захватывания кольца при четырех, шести, восьми точках контакта.

Во втором разделе представлены математические методы по выбору и обоснованию геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров адаптивного схвата и их компьютерные 3D модели. Выбраны и обоснованы различные варианты структурно-кинематических схем адаптивного схвата робота для перегрузки ТВЭЛ-ов. Разработаны компьютерные 3D модели при перегрузке ТВЭЛ-ов из транспортного контейнера в основной. Установлены зависимости между усилиями захвата ТВЭЛ-а от геометрических параметров адаптивного схвата. Проведены расчеты на прочность и жесткость элементов его конструкции.

В третьем разделе диссертации разработан и создан физический прототип перспективного облика дистанционно управляемого мобильного робота с адаптивным схватом для перегрузки ТВЭЛ-а из транспортного контейнера в основной. Он построен на основе идеи о том, что переход от существующего облика (начального состояния) совокупности машин к его новому облику перспективного состояния машин осуществляется с целью повышения эффективности (результативности) их эксплуатации. В общем виде методологический подход к обоснованию и выбору рационального варианта облика машины основывается на основных принципах системного

анализа и синтеза сложных структур по критерию «эффективность-стоимость». Решение задачи экономической оценки вариантов облика перспективного перегрузочного робота должно осуществляться методом двухуровневой оптимизации по схеме многокритериального анализа альтернатив.

Там же для построенной физической модели перспективного облика дистанционно управляемого мобильного робота с адаптивным схватом были проведены экспериментальные исследования по реализации разработанного соискателем математической модели расчета геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров исполнительного механизма адаптивного схвата робота на примере перегрузки фруктов, среднюю сферическую форму, имеющих ТВЭЛ-ов с учетом стохастической среды технологического процесса их перегрузки из транспортного контейнера в основной. При этом было получено наилучшее приближение к истинной координате x_{k+1} (усилия захватывания) от геометрического параметра (высоты губки) адаптивного схвата, так называемая «золотая» середина между показанием z_{k+1} источника с сенсора и $x_k^{opt} + u_k$, являющимся предсказанием того, что ожидается от него получить.

В четвертом разделе диссертации представлен материалы руководства пользователя программного обеспечения «имитационное моделирование функционирования дистанционно управляемого мобильного робота с адаптивным схватом для перегрузки цилиндрических объектов, имеющих различные диаметры сечения. Описываются использованные компонены этого робота, а также описывается принцип его работы и взаимосвязь составляющих компонентов, представлены схемы взаимодействия компонентов, а также инструкия для пользователя и листинг этого программного обеспечения.

Полученные в работе результаты и сама концепция построения перспективного облика управляемого мобильного робота с адаптивным схватом и разработка математических методов повышения точности оценки геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров адаптивного схвата с учетом стохастической среды его функционирования являются новыми, представляют научный и практический интерес и могут быть непосредственно применены в инжинирии не только в Республике Казахстан, но и в других странах мира.

.