

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Заместитель проректора – директор  
Департамента сопровождения научной деятельности ДВФУ  
А.А. Сергиевич  
« 28 » апреля 2020 г.

### **ОТЗЫВ**

ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ) на диссертационную работу Чжо Аунг Хтета «Разработка и исследование взаимосвязанной системы управления процессом формования профильных изделий», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

#### **Актуальность для науки и практики**

Представленное исследование имеет своей целью разработку перспективных технических решений по созданию интеллектуальной системы управления процессом высокотемпературной многоточечной формовки. Реализация технологии высокотемпературной многоточечной формовки осуществляется только в рамках экспериментально - опытных установок. Сведения о системах управления процессом высокотемпературной многоточечной формовки носят отрывочный характер. Отсутствуют рекомендации по разработке и проектированию таких систем управления. Процесс деформации является нестационарным процессом в силу того, что параметры процесса (значения сил, моментов, радиуса кривизны) изменяются во времени. Исследования влияния объекта управления, его свойств на характеристики системы управления остались недостаточно освещенными. Наличие общего объекта силового воздействия вынуждает рассматривать систему управления электроприводами как взаимосвязанную. При этом в имеющихся публикациях в данной области исследование влияния взаимосвязи между формирующими электроприводами остались недостаточно освещенными. Исходя из этого, **актуальность** исследований, выполненных в представленной, работе не вызывает сомнений.

## Оценка структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения, изложенных на 104 страницах машинописного текста, списка литературы из 63 наименований. В работе содержится 53 рисунка и 5 таблиц.

**Во введении** рассмотрено состояние проблемы реализации систем управления многодвигательной системой приводов линейных перемещений формообразующих стержней установки многоточечного высокотемпературного формирования профильных изделий, обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и основные задачи диссертационной работы, определены научная новизна и практическая ценность работы.

**В первой главе** представлен анализ реализации силовой части системы формирования профильных изделий, систем управления формованием профильных изделий, рассмотрены особенности математического аппарата описания процесса формообразования.

Сравнительный анализ технических решений систем многоточечного формования плоских пластин, реализуемых, как правило, либо на основе гидравлических или пневматических цилиндров, либо электромеханических модулей, указывает на предпочтительность построения таких систем на базе силовых электромеханических модулей. Это диктуется большей гибкостью в построении систем управления процессом формования и возможностью контролировать ряд параметров процесса. Отсутствие математического описания процесса формования как объекта силового воздействия электромеханического модуля с учетом связи между параметрами формообразования и выходными параметрами электромеханического модуля (линейное перемещение, скорость перемещения) указывает на правомерность поставленных автором задач исследования систем управления процессом многоточечного формования профильных изделий на базе силовых электромеханических модулей.

**Вторая глава диссертации** посвящена разработке математической модели объекта системы управления процессом многоточечного формованием профильных изделий, уточнению структурных связей многоточечной системы управления формованием профильных изделий, оценке степени взаимосвязанности между локальными системами электроприводов.

При разработке математического описания объекта процесса формования автором предложено использовать трехточечную модель гибки листового материала. Такой подход позволил автору увязать между собой параметры электромеханического модуля: линейное перемещение стержня и усилие, создаваемое стержнем с параметрами заготовки: ее размерами и параметрами материала: модулем пластичности, модулем упрочнения.

При относительно нежестких допущениях диссертанту удалось линеаризовать зависимость между создаваемым усилием и скоростью перемещения стержня, несмотря на нестационарность процесса деформации заготовки. Это позволило использовать классический подход при разработке линеаризованной системы управления позиционным электроприводом. В качестве привода линейных перемещений обоснована целесообразность использования частотно-регулируемого электропривода на базе синхронного серводвигателя. Приводится разработанная структурная схема трехточечного варианта системы управления электроприводами линейных перемещений.

Для обеспечения желаемой точности и качества формируемых изделий система управления должна содержать свыше 180 управляемых приводов линейных перемещений, которые связаны между собой через общий объект – заготовку. Для оценки взаимовлияния линейных приводов перемещения друг на друга исследованию с помощью конечно-элементного анализа подверглись распределения усилий стержней многосвязной системы формирования листового материала. При этом анализировалось матричное распределение стержней линейных перемещений различной размерности. Показано, что при размерности матрицы свыше 5x5 усилиями, приходящимися на оппозитные стержни, расположенные на границе матрицы, от перемещений центрального стержня можно пренебречь. Кроме того, в результате исследования было выявлено наличие взаимовлияний между стержнями при их одновременном перемещении в процессе формирования. Таким образом, подтверждено, что рассматриваемая система управления относится к классу взаимосвязанных систем управления.

**В третьей главе** рассмотрены вопросы создания математической модели интеллектуальной многоточечной взаимосвязанной системы управления процессом формирования профильных изделий, разработки базы правил регуляторов этой системы управления, моделированию нечеткой взаимосвязанной системы управления.

Для ослабления взаимовлияния локальных каналов линейных перемещений друг на друга автором предложено рассматривать задачу автоматической компенсации взаимовлияний вместе со стабилизацией выходного параметра в области нечеткого управления. В силу того, что степень взаимовлияния каналов неоднородна, нечеткие компенсирующие каналы с Fuzzy регуляторами предложено использовать в каналах, обладающих большей информативностью. Рассмотрены принципы настройки Fuzzy регуляторов, при этом предпочтение отдается алгоритмам нечеткого вывода по Сугено.

Выполнено моделирование разработанной интеллектуальной взаимосвязанной системы управления процессом формирования профильных изделий для трехточечного варианта реализации системы. Анализ

результатов моделирования подтвердил, что реализация регуляторов скорости и положения в системе управления позиционных синхронных электроприводов стержневой установки по нечетким алгоритмам позволяет практически исключить взаимовлияние приводов.

**Четвертая глава** посвящена проверке адекватности разработанных математических моделей и подтверждения работоспособности предложенного нечеткого алгоритма управления взаимосвязанной системой управления процессом высокотемпературной многоточечной формовки было на физическом макете.

В качестве физического макета был использован учебно-исследовательский стенд приводов Siemens на основе технологий National Instruments.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают теоретические разработки, выполненные в диссертационной работе.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

#### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности**

Диссертация соответствует заявленной специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)» по пунктам паспорта специальности:

1. Автоматизация производства заготовок, изготовления деталей и сборки.

4. Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация.

15. Теоретические основы, методы, алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУЦ, АСТПП и др.).

#### **Соответствие автореферата диссертации ее содержанию**

Рукопись автореферата достаточно полно отражает краткое содержание диссертационной работы. Оформление автореферата соответствует требованиям ГОСТ Р. 7.0.11 - 2011 и «Положения о присуждении учёных степеней».

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Степень обоснованности научных положений, выводов, и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректным применением теории упругости и пластичности, теории управления, теории электропривода, методов и подходов, базирующиеся на использовании аппарата нечеткой логики и соответствующим обоснованием полученных результатов исследования.

### **Достоверность и новизна полученных результатов**

Достоверность основных научных положений и выводов подтверждена математическим моделированием работы системы управления процессом многоточечного формования профильных изделий. Положительными отзывами на конференциях ведущих ученых и специалистов о результатах исследования.

Диссертация содержит научную новизну, которая заключается в следующем:

- разработана математическая модель многоточечной взаимосвязанной системы управления формированием профильных деталей, учитывающая свойство формирующего материала.

- результаты исследования взаимовлияния электромеханических модулей через общий объект управления.

- разработаны нечеткие алгоритмы управления многоточечной взаимосвязанной системы формирования профильных деталей.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Теоретическая и практическая значимость заключается в том, что:

1. Разработано математическое описание процесса формования как объекта силового воздействия электромеханического модуля, отличительной особенностью которого является возможность учета в усилия нагрузки, воздействующей на вал двигателя, как размеров формируемого материала, так и свойств материала (модуля пластичности, пружинения).

2. Создана имитационная модель трехточечного узла формования листового материала, позволяющая оценить взаимовлияние локальных электромеханических модулей в процессе формования, а также выявить влияние свойств материала на процесс формования.

3. Теоретически обоснована целесообразность использования нечеткого подхода во взаимосвязанной системе управления многоточечного формования листового материала в силу того, что зависимость ряда параметров объекта (коэффициенты пластичности, упрочнения) от температуры можно описать только качественными показателями.

4. Методика настройки нечетких регуляторов скорости и положения локальных электроприводов формирующих стержней, обеспечивающая одновременную реализацию двух функций: компенсацию взаимовлияния между локальными электроприводами при достижении приемлемых результатов позиционирования.

### **Замечания по диссертации**

1. В главе 2 приводится выражение, связывающее параметры привода линейных перемещений с параметрами материала заготовки, однако оценки степени влияния этого фактора не проведено.

2. Методом конечно-элементного анализа выявлено, что взаимовлияние линейных приводов друг на друга практически сказывается в пределах их матричного размещения размером 5x5, но в исследованиях и моделировании использовалась трехточечный вариант размещения стержней.

3. В работе отсутствует база правил нечеткого регулятора положения и нечеткого регулятора скорости, что сильно затрудняет оценку результатов моделирования.

4. Тексты диссертации и автореферата не свободны от стилистических и грамматических ошибок (стр. 6, 10, 12 автореферата и др.).

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

По результатам обсуждения диссертации Чжо Аунг Хтета «Разработка и исследование взаимосвязанной системы управления процессом формования профильных изделий», принято следующее заключение.

### **Заключение о соответствии диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»**

Информация, полученная от системы «Антиплагиат» свидетельствует о том, что диссертация Чжо Аунг Хтета написана самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. В научно-квалификационной работе даны новые обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для систем управления технологическими процессами. Полученные результаты имеют аргументацию и сравниваются с другими известными способами и устройствами управления технологическим процессом многоточечного формования профильных изделий. Научные и практические результаты могут быть рекомендованы для решения задачи построения эффективных систем управления процессом многоточечного формования.

Результаты работ опубликованы в 10 печатных работах, в том числе, 3 из которых входят в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК и 1 статья в издании, входящем в международную систему цитирования Scopus.

Материалы работ, представленные в диссертации и полученные не автором, имеют соответствующие ссылки на источник заимствования.

Диссертация Чжо Аунг Хтета на соискание ученой степени кандидата технических наук является логически завершенной самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития системы управления технологическими процессами.

Автор диссертации заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

Диссертация Чжо Аунг Хтета рассмотрена на заседании Кафедры технологий промышленного производства Инженерной школы федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет».

По результатам обсуждения диссертации принято положительное заключение (протокол № 5 от 6 марта 2020 г.)

Заведующий Кафедрой технологий  
промышленного производства  
Инженерной школы ДВФУ

Змеу  
Константин Витальевич

