

На правах рукописи

ВАКАЛЮК Андрей Александрович

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ ГИДРОРАСТЯЖЕНИЯ
БАНДАЖНЫХ КОЛЕЦ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ**

**Специальность: 05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами
(в промышленности)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа – 2012

Работа выполнена в Уральском государственном университете
путей сообщения

Научный руководитель

д-р техн. наук, профессор
ГОТЛИБ Борис Михайлович

Официальные оппоненты

д-р техн. наук, профессор
ЛЮТОВ Алексей Германович
кафедра автоматизации технологических
процессов Уфимского государственного
авиационного технического университета

канд. техн. наук
БЫВАЛЬЦЕВ Сергей Васильевич
кафедра информатизации технологий
и автоматизации проектирования
Уральского федерального университета

Ведущая организация

РАН ФГБУН
«Институт машиноведения» УоРАН,
г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится «06» апреля 2012 г. в 10⁰⁰ часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан «27» февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.



В. В. Миронов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последнее время в связи с износом энергетического оборудования резко повысились требования к обеспечению безопасности в области энергетики. Это в первую очередь относится к турбогенераторам большой единичной мощности, в частности установленным на АЭС.

Одним из конструктивных элементов, определяющих надежность турбогенераторов, являются бандажные кольца, служащие для укрепления лобовых частей обмоток турбогенераторов. Бандажное кольцо должно отличаться высокой прочностью и однородностью механических характеристик, а также не оказывать воздействие на внутренние магнитные поля турбогенераторов. Такими свойствами обладают кольца из аустенитной (немагнитной) стали, подвергнутые холодной пластической деформации, степень которой может составлять 50–60% для достижения необходимых величин пределов текучести и прочности по объему кольца.

Аналитический обзор научной и производственно-технической литературы по данной проблеме показывает, что требуемые механические свойства бандажных колец наилучшим образом достигаются в процессе холодного пластического гидрорастяжения кольцевых заготовок под действием сверхвысокого давления жидкости, подаваемой во внутреннюю полость заготовки.

В нашей стране производство крупногабаритных бандажных колец организовано на ОАО «Уралмашзавод». Предприятие оснащено уникальным комплексом для производства бандажных колец на базе вертикального гидравлического прессы усилием 300 МН. Производство бандажных колец на других принципах организовано в Германии (*Energietechnik Essen GmbH*), Франции (*Creusot-Loire*), Японии (*Kokan Kako K.k*), и частично в Китае.

При гидрорастяжении кольцевую заготовку устанавливают между вертикально расположенными конусами, связанными с нижней подвижной траверсой и архитравом вертикального гидравлического прессы. Вместе с заготовкой между конусами гидравлического прессы помещают цилиндрическую оправку. Описанная конструкция образует замкнутую внутреннюю полость между внутренней поверхностью заготовки и наружной поверхностью оправки. Гидравлическое растяжение заготовки осуществляют путем подачи во внутреннюю полость жидкости сверхвысокого давления и сближения конусов усилием прессы для обеспечения постоянной герметичности внутренней полости. Под действием сверхвысокого давления жидкости во внутренней полости и усилий раздачи заготовки со стороны сближающихся конусов происходит холодная пластическая деформация кольцевой заготовки. При этом не должны искажаться по высоте наружная и внутренняя цилиндрические поверхности кольцевой заготовки. Нарушение согласованности между движением конусов и возникающей радиальной деформацией заготовки приводит к искажению цилиндрической формы

заготовки, а также появлению трещин и разрушению заготовки. Кроме того, в течение всего процесса гидрорастяжения необходимо обеспечивать герметичность внутренней полости заготовки.

Реальный процесс гидрорастяжения является сложным динамическим объектом управления, функционирующим в условиях неполной и нечеткой информации об основных технологических параметрах процесса. Этим объясняется тот факт, что ранее разработанные автоматизированные системы управления процессом гидрорастяжения нуждаются в коренной модернизации. Значительно повысить эффективность работы автоматизированной системы управления может интеллектуализация процессов управления, а конкретно – построение системы управления с использованием методов нечеткой логики.

Таким образом, разработка эффективной автоматизированной системы управления процессом гидрорастяжения бандажных колец большого диаметра и методов прогнозирования механических свойств по объему колец направлена на решение реальных задач, связанных с производством упрочненных бандажных колец, предназначенных для повышения безопасности турбогенераторов большой единичной мощности, является актуальной.

Объект и предмет исследования диссертации. Объектом исследования является технологический комплекс на базе мощного гидравлического пресса усилием 300 МН для упрочнения методом гидрорастяжения крупногабаритных бандажных колец. Предметом исследования является создание АСУ ТП гидрорастяжения крупногабаритных бандажных колец.

Цель работы. Целью данного диссертационного исследования является разработка технологических, методологических и теоретических основ построения автоматизированной системы управления процессом гидрорастяжения кольцевых заготовок для повышения производительности процесса гидрорастяжения, геометрической точности и качества бандажных колец большого диаметра.

Задачи исследования

1. Построить математическую модель процесса гидрорастяжения, учитывающую влияние основных технологических параметров на точность и качество кольцевых заготовок.

2. Разработать имитационную модель технологического процесса гидрорастяжения для исследования и моделирования АСУ в условиях нечеткости и неопределенности технологических параметров процесса.

3. Разработать систему бесконтактного измерения геометрической формы кольцевой заготовки в процессе гидрорастяжения на основе оптоэлектронных приборов.

4. Разработать концепцию построения автоматизированной системы управления процессом гидрорастяжения кольцевых заготовок на основе системного и структурно-функционального подходов.

5. Разработать алгоритм и способ управления процессом гидрорастяжения кольцевых заготовок в условиях параметрической неопределенности технологического процесса на основе метода нечеткой логики.

6. Оценить эффективность предложенного подхода к управлению процессом гидрорастяжения бандажных колец большого диаметра.

Методы исследования

При выполнении исследований использованы: вариационные методы механики твердых деформируемых тел, теория автоматического управления сложных технических систем, методы построения АСУ с использованием технологий нечеткой логики, математическое и имитационное моделирование технологических процессов, информационные технологии.

На защиту выносятся

1. Математическая модель процесса гидрорастяжения, учитывающая влияние основных технологических параметров на точность и качество кольцевых заготовок.

2. Имитационная модель процесса гидрорастяжения для моделирования технологического процесса в условиях неопределенности технологического процесса.

3. Система бесконтактного измерения геометрической формы кольцевой заготовки в процессе гидрорастяжения на основе оптоэлектронных приборов.

4. Концепция построения автоматизированной системы управления процессом гидрорастяжения кольцевых заготовок на основе системного и структурно-функционального подходов.

5. Алгоритм и способ управления процессом гидрорастяжения кольцевых заготовок в условиях параметрической неопределенности технологического процесса на основе метода нечеткой логики.

6. Результаты экспериментальных исследований эффективности предложенного подхода к управлению процессом гидрорастяжения бандажных колец большого диаметра.

Научная новизна исследований

1. Новизна разработанной математической модели процесса гидрорастяжения крупногабаритных кольцевых заготовок заключается в том, что она учитывает сложность формы заготовки и позволяет определить формоизменение заготовки и степень накопленной деформации в материальных точках по всему объему заготовки.

2. Новизна разработанной имитационной модели процесса гидрорастяжения заключается в том, что облегчает проектирование ТП гидрорастяжения и построение автоматизированной системы управления процессом гидрорастяжения.

3. Новизна разработанной системы бесконтактного измерения геометрической формы кольцевой заготовки в процессе гидрорастяжения на основе опто-

электронных приборов заключается в том, что позволяет в автоматическом режиме, не влияя на динамические характеристики системы управления, с большой точностью измерять диаметр и форму кольцевой заготовки.

4. Новизна разработанной концепции построения автоматизированной системы управления процессом гидрорастяжения на основе системного и структурно-функционального подхода заключается в том, что позволяет одновременно поддерживать оба регулируемых параметра с высокой точностью.

5. Новизна разработанного алгоритма и способа управления процессом гидрорастяжения кольцевых заготовок на основе метода нечеткой логики заключается в том, что позволяет организовать управление процессом гидрорастяжения в условиях параметрических неопределенностей и обеспечить близкие к оптимальным в смысле технико-экономических критериев технологические режимы.

6. Новизна экспериментального исследования состоит в использовании автоматизированной системы управления процессом гидрорастяжения на основе методов нечеткой логики для управления ТП, что позволяет выявить повышение производительности, геометрической точности и качества бандажных колец большого диаметра.

Практическая ценность работы

1. Разработана система бесконтактного измерения размеров и геометрической формы кольцевой формы в процессе гидрорастяжения, которая позволяет увеличить точность производимых измерений на 35 %.

2. Разработана модель процесса гидрорастяжения, который позволяет моделировать технологический процесс и обучать обслуживающий персонал в условиях неопределенностей технологического процесса, что позволило вдвое ускорить процесс разработки и освоения управления процессом гидрорастяжения.

3. Разработана модель управления механическими свойствами бандажного кольца в процессе гидрорастяжения, которая позволяет прогнозировать качество и повышать надежность готовых изделий в зависимости от уровня технологических параметров кольцевых заготовок и режимов режимом управления ТП гидрорастяжения.

4. Полученные результаты нашли применение в процессе модернизации гидропрессовой установки усилием 300 МН для производства бандажных колец на ОАО «Уралмашзавод».

Технологическое направление выполненной работы соответствует П.21 Перечня критических технологий Российской Федерации, утвержденного Президентом РФ (Пр-842 от 21.05.2006) – Технологии снижения риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф. Результаты диссертационной работы также нашли применение при выполнении Программы «Интеллектуальные системы управления процессом гидрорастяжения кольцевых заго-

товок большого диаметра на гидравлическом прессе усилием 300 МН» (Утверждена техническим директором ООО «Уралмашспецсталь» от 26.07.2007).

Результаты исследований используются в учебном процессе Уральского государственного университета путей сообщения при преподавании дисциплины «Технологии автоматизированного машиностроения» для специальности 220401 «Мехатроника».

Апробация работы

Основные результаты и положения данной диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: 5-й научно-технической конференции «Мехатроника, автоматизация, управление» (МАУ–2008), С.-Петербург, 2008; Пятой всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых. Актуальные проблемы науки и техники. Машиностроение, электроника, приборостроение, Уфа, 2010; 7-й научно-технической конференции «Мехатроника, автоматизация, управление» (МАУ–2010), С.-Петербург, 2010; 15-й Международной научно-технической конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения», «АПИР-15», Тула, 2010; Всероссийской научной конференции молодых ученых «НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ», Новосибирск, 2010; 10-й Всероссийской научной конференции с международным участием «Краевые задачи и математическое моделирование», Новокузнецк, 2010; Международной научно-технической конференции «Транспорт XXI века: исследования, инновации, инфраструктура», Екатеринбург, 2011.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 1 из них в рецензируемых журналах из списка ВАК, получен 1 патент.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 46 наименований. Основная часть работы (без библиографического списка) изложена на 131 страницах машинного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обозначена актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, отмечена новизна и практическая ценность, выносимых на защиту результатов.

В первой главе приведен аналитический обзор существующих технологических процессов производства крупногабаритных бандажных колец и кольцевых заготовок в России, Германии, Франции.

В России процесс гидрорастяжения крупногабаритных кольцевых заготовок осуществляется на вертикальном гидравлическом прессе усилием 300 МН (рис. 1). Устройство для гидрорастяжения оснащено насосом сверхвысокого (до 300 МПа) давления переменной производительности 2,5...7,6 л/мин, насосом

высокого (до 32 МПа) давления переменной производительности 50...600 л/мин для перемещения нижней подвижной траверсы. Рабочая жидкость – вода с эмульсией. Рабочий ход нижней траверсы обеспечивается гидроцилиндрами, скорость рабочего хода 0,085...0,67 мм/с.

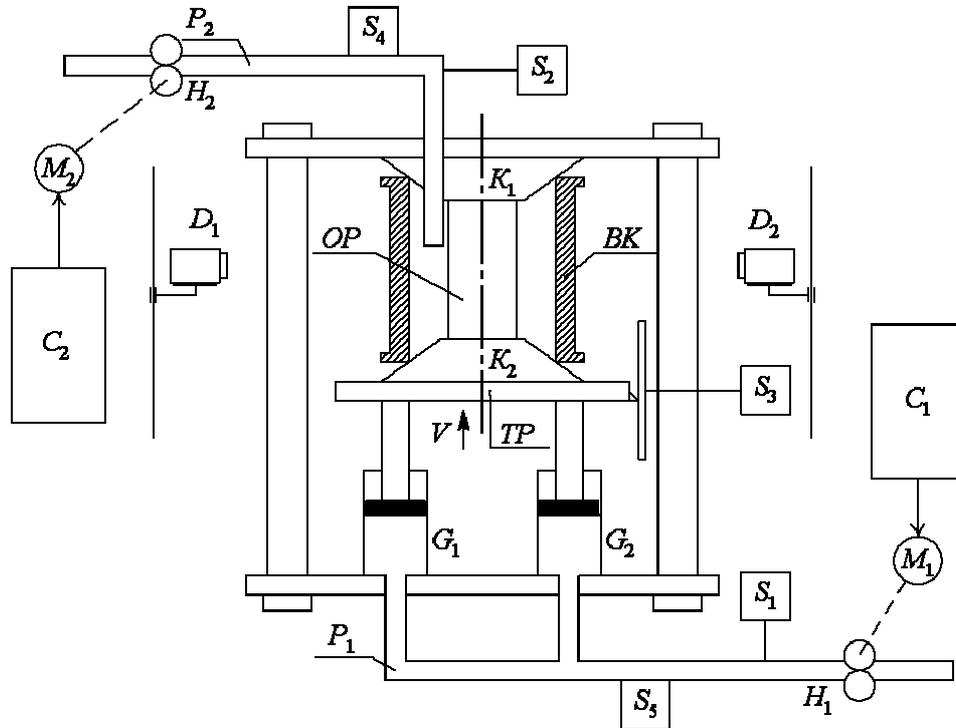


Рисунок 1 – Процесс гидрорастяжения кольцевой заготовки на вертикальном прессе усилием 300 МН

(условные обозначения: H_1 – насос высокого давления; M_1 – привод насоса H_1 ; C_1 – система управления приводом; H_2 – насос сверхвысокого давления; M_2 – привод насоса H_2 ; C_2 – система управления приводом; G_1, G_2 – цилиндры гидропривода пресса; P_1 – магистраль высокого давления (0...320 кгс/мм²); P_2 – магистраль сверхвысокого давления (500...3000 кгс/мм²); BK – заготовка; K_1, K_2 – конусы, OP – оправка, S_1 и S_2 – датчики давления магистралей высокого и сверхвысокого давления соответственно, S_4 и S_5 – датчики расхода жидкости магистралей высокого и сверхвысокого давления соответственно, S_3 – датчик скорости перемещения траверсы пресса)

Повышение механических свойств бандажных колец достигается за счет упрочнения металла кольцевой заготовки в процессе гидрорастяжения. При этом заготовка должна сохранять цилиндрическую форму в течение всего процесса гидрорастяжения (допустимые пределы отклонения от цилиндрической формы наружного диаметра кольцевой заготовки на должны превышать ± 3 мм по высоте заготовки).

Поэтому основное назначение АСУ ТП гидрорастяжения состоит в обеспечении требуемой степени упрочнения металла заготовки и сохранении ци-

линдрической формы кольцевой заготовки в процессе гидрорастяжения. Еще одна функция АСУ состоит в предотвращении утечки жидкости сверхвысокого давления из внутренней полости заготовки (сохранение герметичности внутренней полости) в месте контакта заготовки и конусов.

Несмотря на большой объем исследований и работ по созданию по АСУ процессом гидрорастяжения, до настоящего времени:

- отсутствует адекватная математическая модель процесса гидрорастяжения;
- не разработан метод прогнозирования уровня и распределения механических свойств по объему упрочненного бандажного кольца;
- не использованы современные информационные технологии и методы создания АСУ сложными объектами в условиях неполной и неточной информации о технических и технологических параметрах объекта;
- требует модернизации установка бесконтактного способа измерения геометрической формы кольцевой заготовки в процессе гидрорастяжения.

Поэтому вопрос о создании АСУ процессом гидрорастяжения остается актуальным и открытым для своего дальнейшего решения, так как только в этом случае будет повышена производительность и стабильность процесса гидрорастяжения, гарантировано высокое качество и надежность бандажных колец, а также обеспечены безопасные, отвечающие всем эргономическим нормам, условия труда операторов процесса.

Таким образом, модернизация установленного на ОАО «Уралмашзавод» технологического комплекса для производства крупногабаритных бандажных колец методом гидрорастяжения является злободневной и актуальной задачей в связи с тем, что производство бандажных колец для энергетического машиностроения в нашей стране возможно только на этом единственном в России комплексе.

Во второй главе показано, что традиционный подход к созданию АСУ сложными динамическими объектами на базе линейных и нелинейных регуляторов не позволяет обеспечить необходимое качество управления процессом гидрорастяжения в связи с отсутствием полной и достоверной информации о процессе. Робастные и адаптивные системы управления, применительно к процессу гидрорастяжения, будут отличаться повышенной сложностью на этапе эксплуатации (если их вообще возможно разработать). Это подтверждается тем фактом, что все многочисленные попытки создания АСУ ТП гидрорастяжения на ОАО «Уралмашзавод» оказались безуспешными.

В диссертационной работе построение АСУ ТП гидрорастяжения базируется на использовании методов информационных технологий, в частности методов нечеткой логики. Поэтому концепция АСУ ТП гидрорастяжения заключается в разработке многосвязной совокупности информационно-измерительных, управляющих и функционально-технических подсистем.

С этой целью предложена трехуровневая гибкая иерархическая конфигурация системы управления (рис. 2), обеспечивающая выполнение всех управляющих и вспомогательных функций АСУ ТП гидрорастяжения.

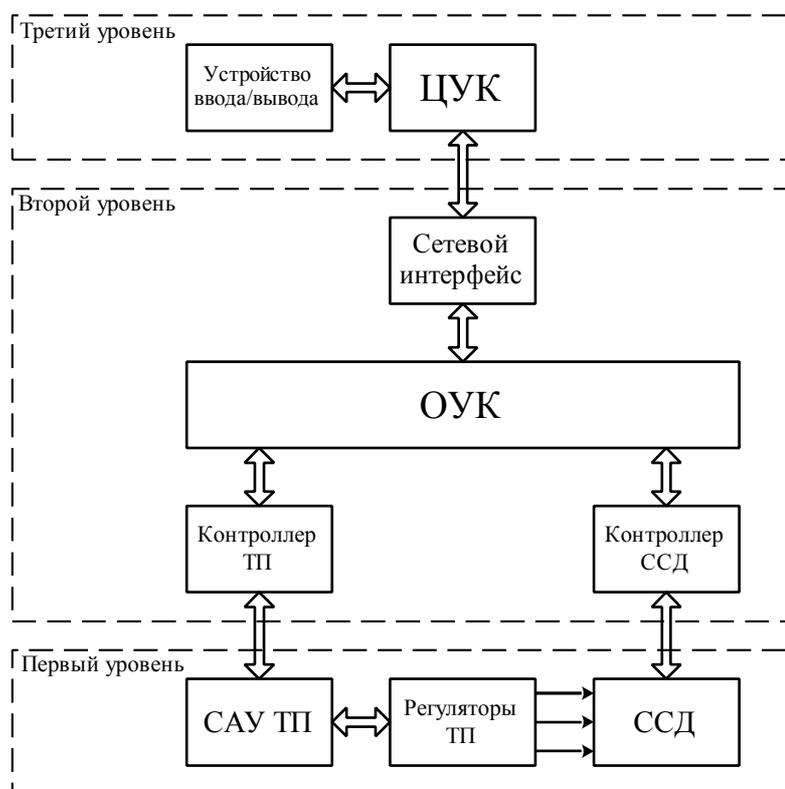


Рисунок 2 – Обобщенная структура АСУ ТП гидрорастяжения

Высший (третий) уровень АСУ ТП представляет собой центральный управляющий компьютер (ЦУК), состоящий из нескольких процессоров и связанный с основным управляющим компьютером (ОУК) посредством сетевого интерфейса. На данном уровне выполняются следующие функции: сбор, переработка, хранение и выдача информации о работе АСУ ТП гидрорастяжения и состоянии ТП гидрорастяжения; анализ результатов работы системы и планирование управляющих программ; выбор режима работы системы; отладка программ и настройка всех уровней системы; тестирование и контроль технического состояния ТП гидрорастяжения; функции связанные с оперативным вмешательством оператора в ТП гидрорастяжения.

Второй уровень системы определяется наличием основного управляющего компьютера (ОУК), связанного с контроллером ТП гидрорастяжения и контроллером системы сбора данных (ССД) ТП гидрорастяжения, и представляет собой замкнутый контур управления ТП гидрорастяжения. Данный уровень связан с высшим и третьим уровнями. Основные функции, реализованные на данном уровне: замкнутое управление ТП гидрорастяжения по программам и алгоритмам, предоставленным высшим уровнем; мониторинг состояния ТП

гидрорастяжения и оборудования защитные функции; координация и диспетчеризация информационных потоков.

Первый уровень АСУ ТП реализован в виде двух САУ и системы сбора данных состояния ТП гидрорастяжения. На данном уровне выполняются функции, связанные с обеспечением поддержания режимов работы оборудования ТП гидрорастяжения, мониторингом его состояния и реализацией информационных каналов для связи со вторым уровнем.

Данная конфигурация системы позволяет обеспечить высокую работоспособность и отказоустойчивость, повысить качество управления ТП гидрорастяжения, а также придает системе гибкость конфигурации.

В третьей главе разработаны математическая и имитационная модели процесса гидрорастяжения. Математическая модель предназначена для определения формоизменения кольцевой заготовки в процессе гидрорастяжения и оценки величины деформации в различных материальных точках по объему деформируемой заготовки. Данная задача была решена с привлечением прямых вариационных методов механики твердого деформируемого тела. Результаты математического моделирования показали, что в процессе гидрорастяжения имеет место значительная неоднородность деформации, достигающая до 30 % в различных областях кольцевой заготовки. Минимальная деформация имеет место в центральной части заготовки, а максимальная в верхней части заготовки (в месте контакта заготовки и конусов).

Имитационная модель предназначена для проектирования технологического процесса гидрорастяжения, исследования различных способов деформирования кольцевой заготовки под воздействием сверхвысокого внутреннего давления и конусов, прогнозирования механических свойств готовых бандажных колец. Имитационная модель реализована в виде компьютерных программ и функционирует в двух режимах: «Проектирование» и «Моделирование».

Адекватность моделей была проверена в производственных условиях в процессе гидрорастяжения кольцевых заготовок на прессе усилием 300 МН (ОАО «Уралмашзавод») под воздействием конусов и жидкости сверхвысокого давления, подаваемой во внутреннюю полость заготовки (см. рис. 1).

Разработанная методика прогнозирования механических свойств (условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ и предела прочности σ_B) упрочненных бандажных колец базируется на полученной экспериментальным путем зависимости механических свойств от величины степени деформации сдвига. Аналитически эта зависимость имеет вид:

$$\sigma_{0,2}(r) = \sigma_{0,2}^0(r) + (2,84 \sigma_{0,2}^0(r) + 299)\Lambda(r),$$

$$\sigma_B(r) = \sigma_B^0(r) + (1,99 \sigma_B^0(r) - 684)\Lambda(r),$$

где $\sigma_{0,2}^0$ и σ_B^0 – соответственно условный предел текучести и предел прочности материала заготовки, поступающей на гидрорастяжение; Λ – степень де-

формации сдвига материальных точек заготовки (определяется методами математического моделирования); r – радиус-вектор материальной точки заготовки.

Алгоритм имитационного моделирования всего технологического процесса гидрорастяжения кольцевой заготовки представлен на рис. 3.

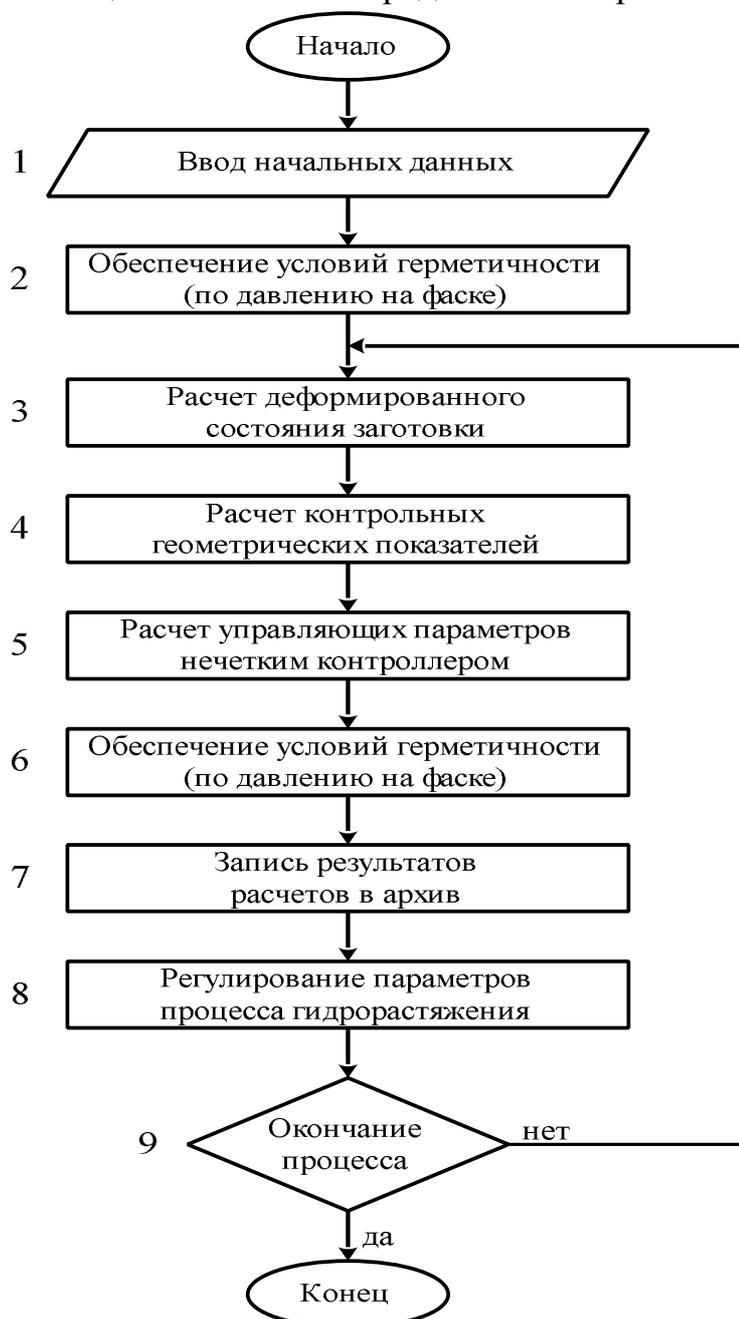


Рисунок 3 – Алгоритм имитационного моделирования процесса гидрорастяжения

Использование методов имитационного моделирования позволяет отказаться от дорогостоящих экспериментов на промышленном оборудовании и ускорить процедуру освоения новых технологий гидрорастяжения.

В четвертой главе произведено построение и исследование подсистем АСУ ТП гидрорастяжения.

Для проведения анализа и построения функциональной модели системы управления процессом гидрорастяжения используется *CASE*-средство верхнего уровня *ERwin* компании *Computer Associations*, поддерживающее методологии *IDEFO* и позволяющее построить модель управления процессом гидрорастяжения, адекватную предметной области на всех уровнях абстрагирования. Контекстная диаграмма, описывающая систему в целом и ее взаимосвязь с окружающим миром, разбивается на ряд контекстных диаграмм.

Исходя из разработанной функциональной модели АСУ ТП гидрорастяжения, сделан вывод о сложности создаваемой системы, включающей ряд функционально-подчиненных подсистем. Общая структура системы управления ТП гидрорастяжения соответствует иерархическому принципу построения и включает стратегический, тактический и исполнительский уровни. Особенностью структуры АСУ ТП гидрорастяжения является организация ее в рамках теории ситуационного управления с привлечением методов и технологий искусственного интеллекта.

В состав АСУ ТП гидрорастяжения входят три классических САУ: САУ привода насоса сверхвысокого давления (НСВД), САУ привода насоса высокого давления (НВД) и САУ приводов лазерных дальномеров (ЛД).

САУ приводов НСВД и НВД предназначены для поддержания режимов работы приводов насосов ТП гидрорастяжения и выполнены в виде двухконтурных систем регулирования с контурами тока якоря и скорости двигателя. Функции САУ приводов НСВД и НВД выполняют комплектные тиристорные устройства.

САУ приводов ЛД выполняют установку ЛД на необходимый по высоте уровень и выполнены в виде двухконтурных систем регулирования с контурами скорости вращения двигателя и положения его ротора. Функции САУ приводов ЛД выполняют схемы в составе ПЛК и преобразователя частоты.

В составе контроллера ТП разработана АСУ ТП, которая является много-связной системой (рис. 4). На вход объекта управления подаются два управляющих воздействия: величина сверхвысокого давления во внутренней полости заготовки q' и скорость перемещения траверсы пресса V_T' , подаваемые на входы САУ привода НСВД и НВД. Выходными параметрами объекта управления являются: величина искажения формы кольцевой заготовки ΔD (ошибка формы), величина давления жидкости во внутренней полости заготовки q , величина давления жидкости в цилиндрах пресса p . АСУ ТП состоит из двух контуров регулирования, связанных через общие регулирующие воздействия: контур ситуационного управления ТП гидрорастяжения на основе метода нечеткой логики и контур контроля и обеспечения герметичности внутренней полости кольцевой заготовки. Инерционная составляющая в работе контуров приводит к разности частот их работы – частота работы контура герметизации несравнимо выше частоты работы контура ситуационного управления.

Контур ситуационного управления состоит из двух параллельно работающих контуров нечеткого регулирования величины сверхвысокого давления во внутренней полости заготовки q и скорости перемещения траверсы прессы V_T . Нечеткие ассоциативные правила регулятора определены на основе опыта и знаний оператора процесса и технических сведений о протекании процесса гидрорастяжения.

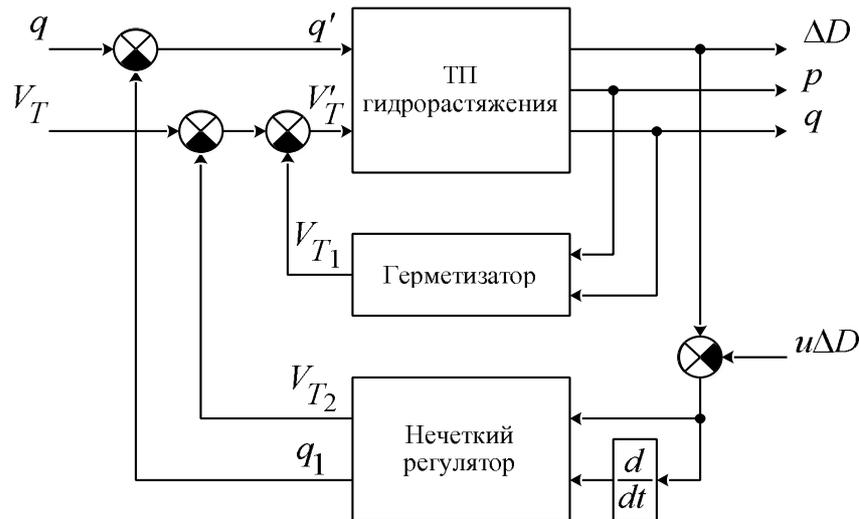


Рисунок 4 – Обобщенная структура АСУ ТП гидрорастяжения (условные обозначения: $u\Delta D$ – задатчик ошибки формы; ΔD – ошибка формы; q – давление жидкости во внутренней полости заготовки; p – давление жидкости в рабочих цилиндрах прессы; V_T – скорость движения траверсы прессы; q' и V'_T – рассчитанные управляющие воздействия; q_1 , V_{T1} , V_{T2} – корректирующие управляющие воздействия)

На основе опыта и знаний оператора процесса были получены некоторые из правил:

- «при искажении формы типа «бочка» необходимо повышать скорость перемещения траверсы прессы»;
- «при искажении формы типа «корсет» необходимо повышать давление жидкости в внутренней полости заготовки»;
- «процесс управления предпочтительнее вести при небольшом искажении формы типа «бочка»»;
- «исправлять искажения формы типа «корсет» сложнее, чем искажение типа «бочка»».

Разработан состав АСУ ТП гидрорастяжения, полностью отвечающий требованиям функциональной и структурной схемам АСУ ТП гидрорастяжения.

Разработанная система бесконтактного измерения диаметра и формы кольцевой заготовки, базирующаяся на методе разностного измерения диаметров

заготовки с применением современных лазерных дальномеров бесконтактного действия фирмы *Dimetix*, установленных на автономные подвижные площадки, позволила с большой точностью измерять диаметры и форму кольцевой заготовки и компенсировать перемещения сомой заготовки вместе с частями прессы во время процесса гидрорастяжения и изменения геометрических параметров заготовки.

Разработанный алгоритм управления ТП гидрорастяжения позволяет качественно управлять ТП гидрорастяжения с возможностью комбинирования режимов управления между ручным и автоматическим, а также выводом состояния ТП гидрорастяжения в удобной для оператора форме и записью параметров процесса, что позволяет существенно облегчить труд оператора процесса гидрорастяжения. Разработанный алгоритм автоматического управления ТП гидрорастяжения в рамках алгоритма управления процессом позволяет осуществлять качественное управление ТП гидрорастяжения в автоматическом режиме, что способствует повышению качества выпускаемой продукции и снижению утомляемости оператора процесса из-за длительного монотонного труда, так как процесс гидрорастяжения может занимать до нескольких часов.

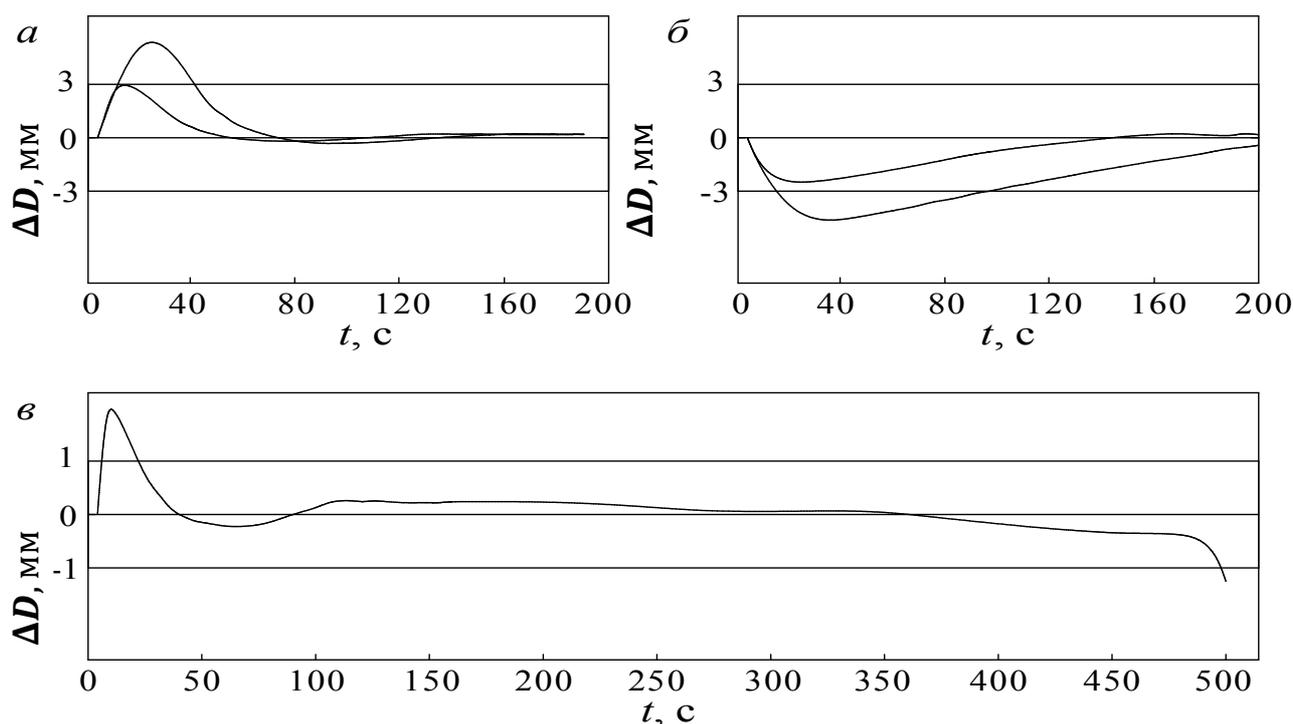


Рисунок 5 – Диаграммы переходных процессов

В ходе тестирования АСУ ТП гидрорастяжения методом компьютерного моделирования были произведены исследования работы системы при возникновении стандартных ситуаций ТП гидрорастяжения: появления искажений формы типа «бочка» и «корсет», а также моделирование полного процесса гидрорастяжения в автоматическом режиме. На рис. 5 приведены диаграммы пере-

ходных процессов искажения формы заготовки при различных производственных ситуациях.

На рисунке 5,а и 5,б приведены диаграммы переходных процессов искажения формы заготовки в режимах исправления искажения формы заготовки типа «бочка» и типа «корсет» соответственно. Искажение формы типа «корсет» происходит медленнее, чем искажение формы типа «бочка», так возникает опасность разгерметизации внутренней полости заготовки. Также наблюдается стремление переходных процессов к «небольшому» искажению формы заготовки типа «бочка», что соответствует предпочтительному режиму ведения процесса гидрорастяжения, так исправление искажения формы типа «бочка» проще, чем искажение формы типа «корсет». На диаграмме полного процесса гидрорастяжения (рис. 5в) наблюдается постепенное стремление заготовки к искажению формы типа «корсет», что вызвано увеличивающимися механическими свойствами заготовки и неспособностью НСВД закачать необходимый объем жидкости во внутреннюю полость заготовки. Несмотря на данный факт, отклонение формы кольцевой заготовки от цилиндрической остается в допустимых пределах.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана математическая модель процесса гидрорастяжения крупногабаритных кольцевых заготовок, учитывающая влияние основных технологических параметров и сложность формы заготовки на ее точность и качество и позволяющая определить формоизменение заготовки и степень накопленной деформации в материальных точках по объему заготовки с большой точностью. Математическая модель позволила выявить значительную неоднородность (в пределах 20...30 %) распределения деформации по объему заготовки.

2. Разработана имитационная модель ТП гидрорастяжения, позволяющая впервые в заводской практике, осуществить проектирование ТП и прогнозирование механических свойств бандажных колец, а также ставшая основой для разработки концепции построения, моделирования и исследования АСУ ТП гидрорастяжения.

3. Разработана система бесконтактного измерения внешнего диаметра и формы кольцевой заготовки, использующая метод разностных измерений в различных сечениях по высоте заготовки и объединенная в обособленный контур управления, что позволяет идентифицировать форму заготовки с большой точностью независимо от изменения ее положения и не влиять на динамику работы основной части АСУ ТП гидрорастяжения.

4. Разработана концепция АСУ ТП гидрорастяжения, которая заключается в комплексной многорежимной и многоканальной автоматизации ТП гидрорастяжения, разработке многосвязной совокупности информационно-

измерительных, управляющих и функционально-технических подсистем, и передачей управляющих функций от квалифицированного оператора ТП автоматике, организованной на основе современных информационных технологий, что способствовало в создании эффективной АСУ ТП гидрорастяжения, обладающей расширенными техническими возможностями по обеспечению ТП гидрорастяжения и вспомогательных технических операций.

5. Разработан алгоритм функционирования АСУ ТП гидрорастяжения кольцевых заготовок, который базируется на принципе ситуационного управления с использованием методов нечеткой логики обработки информационных потоков, позволяющий организовать управление процессом гидрорастяжения в условиях параметрических неопределенностей и обеспечить близкие к оптимальным в смысле технико-экономических критериев технологические режимы.

6. Практическое использование разработанной автоматизированной системы управления процессом гидрорастяжения бандажных колец позволит оптимизировать (стабилизировать) механические свойства и повысить надежность колец, сократит брак, улучшит условия труда и повысит безопасность обслуживающего персонала, повысит производительность процесса.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Производство бандажных колец мощных турбогенераторов: технология и управление / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк // *Фундаментальные исследования*. 2011. № 12 (ч. 1). С. 96–101. Доступно в Интернет: [www.rae.ru/fs/?section=content &op=show_article&article_id=7981424](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=7981424).

Патент

2. Радиально-поршневая гидромашина многократного действия: пат. № 2341683 Рос. Федерация: МПК⁵¹ F 04 B 1/04 / А. А. Вакалюк, В. М. Таугер, А. В. Ефимов; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС). – 2007117414/06; заявл. 10.05.2007; опубли. 20.12.2008.

В других изданиях

3. Интеллектуальная система управления процессом гидрорастяжения / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк // *Мехатроника, автоматизация, управление: матер. 2-й Рос. мультикоф. по проблемам управления*. СПб.: ГНЦ РФ «Электроприбор», 2008. С. 181–184.

4. Применение гибридных методов управления процессами изотермического прессования / Б. М. Готлиб, В. С. Тарасян, А. А. Вакалюк // *Механика*

и автоматика. Белосток: Белостокск. техн. ун-ет, 2008. № 4. С. 16–18. (Статья на англ. яз.).

5. Математическая модель процесса гидрорастяжения кольцевых заготовок большого диаметра / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк // Краевые задачи и математическое моделирование: тематич. сб. науч. ст. Новокузнецк: КемГУ, 2010. Т. 1. С. 68–74.

6. Имитационная модель процесса гидрорастяжения кольцевых заготовок / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк, И. Н. Крещенко // Мехатроника, автоматизация, управление: матер. 3-й мультикоф. по проблемам управления. СПб.: ГНЦ РФ «Электроприбор», 2010. С. 140–143.

7. Автоматизированная система управления процессом гидрорастяжения бандажных колец большого диаметра / А. А. Вакалюк // Вестник Тульского государственного университета. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: матер. Междунар. науч.-техн. конф. «АПИР-15». 2010. Ч. 2. С. 61–65.

8. Автоматизированная система управления процессом гидрорастяжения крупногабаритных кольцевых заготовок / А. А. Вакалюк // Наука, технологии, инновации: матер. Всерос. науч. конф. молодых ученых. Новосибирск: НГТУ, 2010. С. 250–251.

9. Автоматизированная система моделирования и управления процессом гидрорастяжения крупногабаритных кольцевых заготовок / А. А. Вакалюк // Актуальные проблемы в науке и технике. Т. 4. Машиностроение, электроника, приборостроение: сб. тр. 5-й Всерос. зимн. шк.-сем. аспирантов и молодых ученых. Уфа: УГАТУ, 2011. С. 42–47.

10. Система управления процессом гидрорастяжения на основе методов нечеткой логики / А. А. Вакалюк, Б. М. Готлиб // Вычислительная техника и информационные технологии: межвуз. науч. сб. Уфа: УГАТУ, 2011. С. 63–67.

Диссертант

А. А. Вакалюк

ВАКАЛЮК Андрей Александрович

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ГИДРОРАСТЯЖЕНИЯ БАНДАЖНЫХ КОЛЕЦ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ

Специальность: 05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами
(в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 24.02.12 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать ризографическая. Тираж 120 экз. Заказ 633.
Гарнитура «TimesNewRoman». Отпечатано в типографии
«ПЕЧАТНЫЙ ДОМЪ» ИП ВЕРКО.
Объем 1 п.л. Уфа, Карла Маркса 12 корп. 4,
т/ф: 27-27-600, 27-29-123