

В. П. Перевертов, М. Н. Пиганов, Н. К. Юрков

МЕТОДИКА РАСЧЕТА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОЙ МАШИНЫ С СИСТЕМОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

V. P. Perevertov, M. N. Piganov, N. K. Yurkov

CALCULATION METHODOLOGY OF FAST ACTING ACTUATOR FORGING-AND-STAMPING MACHINE SYSTEM, DIAGNOSTIC CONTROL

Аннотация. Актуальность и цели. Муфтовые винтовые прессы (МВП) представляют собой новый тип кузнечно-штамповых машин (КШМ), предназначенных для технологических операций точной горячей и холодной объемной и листовой штамповки и т.д., для привода которых используется кинетическая энергия постоянно вращающегося в одном направлении маховика. Для совершения рабочего хода деформирования маховик соединяется с винтом и по окончании его отсоединяется от винта соединительной муфтой (исполнительный орган), быстродействие которой является важной технологической и эксплуатационной характеристикой качества управления МВП. В работе изложена методика расчета быстродействующего исполнительного органа МВП с системой диагностического управления, предназначенная для повышения надежности технологического оборудования в гибких производственных системах (ГПС) и получения качественной продукции (деталей) ракетно-космической техники и скоростного железнодорожного транспорта из титановых, композитных и наноматериалов и сплавов. **Материалы и методы.** Дана методика проекторочного расчета быстродействующего исполнительного органа МВП в условиях ГПС с системой диагностического управления, составными частями которой является методика расчета динамики срабатывания гидроприводной муфты МВП с импульсным сбрасывающим клапаном (ИСК), позволяющая рассчитывать динамические параметры муфты, и методика синтеза математического обеспечения процессов управления. Представлена взаимозависимость элементов структурно-функциональной и математических моделей системы «КШМ – инструмент – заготовка – диагностическое управление – исполнительный орган КШМ», влияющих на качество и надежность элементов КШМ. **Результаты.** Полученные алгоритм расчета динамики срабатывания гидроприводной муфты МВП с ИСК и методика синтеза математического обеспечения алгоритмов адаптивного управления МВП позволяют получить системы контроля и диагностики параметров технологического процесса и

Abstract. Background. Coupling screw presses (MVP) are a new type of forge-and-stamping machines (KShM), designed for precision hot and cold volume and sheet stamping operations, etc., for the drive of which the kinetic energy of a constantly rotating direction of the flywheel. To accomplish the working stroke of the deformation, the flywheel is connected to the screw and, at the end, it is disconnected from the screw by a joint clutch (executive body) whose speed is an important technological and operational characteristic of the quality management of the profit center. In the paper, the methodology for calculating the fast-acting executive body of the Profit Center with a diagnostic control system designed to increase the reliability of technological equipment in flexible production systems (GPS) and to obtain high-quality products (parts) of rocket and space equipment and high-speed railway transport from titanium composites and nanomaterials and alloys. **Materials and methods.** The method of design calculation of the high-speed executive body of the MVP under the conditions of GPS with a diagnostic control system is provided. Its components are the procedure for calculating the dynamics of the operation of a hydro-driven coupling MVP with a pulse drop-off valve (ICS), which allows calculating the dynamic parameters of the coupling and the procedure for synthesizing the software of processes management. The interdependence of the elements of the structural-functional and mathematical models of the system "KShM – tool – blank – diagnostic control – the executive body of the KShM", affecting the quality and reliability of the elements of the KShM, is presented. **Results.** The obtained algorithm for calculating the dynamics of the operation of the hydraulic clutch of the MVP with the ICS and the methodology for synthesizing the mathematical support of the adaptive control algorithms of the MVP enable us to obtain control and diagnostic systems for the parameters of the technological process and the equipment of the boring machine-building plant. **Conclusions.** It is shown that without the control and diagnostics of product quality indicators, using modern methods and measuring instruments, including laser, infrared, fiber optic sensors and

оборудования КШМ заготовительного производства. *Выводы.* Показано, что без контроля и диагностики показателей качества продукции с помощью современных методов и средств измерения, включая лазерные, инфракрасные, волоконно-оптические датчики и устройства, невозможно обеспечить высокое качество при изготовлении и ремонте, а также безопасность и экологичность работы технологической системы.

Ключевые слова: система, контроль, качество, надежность, математическое обеспечение, технологическое оборудование, винтовой пресс.

devices, it is impossible to provide high quality in manufacturing and repair, as well as the safety and environmental friendliness of the technological system.

Key words: system, control, quality, reliability, software, technological equipment, screw press.

Введение

Качество – комплексное понятие, характеризующее эффективность всех сторон деятельности: разработка стратегии и тактики, организация и управление производством, маркетинг и менеджмент. Определенный набор свойств продукции, удовлетворяющий потребности заказчика, называют потребительским качеством продукции (изделия). Успех любого бизнеса в производстве определяется качеством, а также сроками изготовления и ценой. Метрология, стандартизация и сертификация (МСС) – это инструменты обеспечения качества продукции и услуг. Анализируя триаду, можно сделать следующие выводы: 1) метрология методами различного контроля гарантирует, что изготовленная продукция соответствует стандарту, техническим условиям чертежей, документации; 2) стандарт устанавливает основные потребительские свойства товара в соответствии с требованиями к системам обеспечения качества (стандарты ИСО серии 9000); 3) сертификация – это процедура, посредством которой независимая третья сторона документально удостоверяет, что продукция (услуга) соответствует требованиям всех нормативных документов.

Муфтовые винтовые прессы (МВП) представляют собой новый и перспективный класс кузнечно-штамповых машин (КШМ), предназначенных для технологических операций горячей и холодной объемной штамповки в закрытых и открытых штампах,ковки, листовой штамповки, чеканки, калибровки и т.д. в качестве базового оборудования в условиях применения гибких производственных систем (ГПС). В отличие от винтовых прессов (ВП) традиционных конструкций [1] в МВП для привода рабочих частей используется кинетическая энергия постоянно вращающегося в одном направлении маховика. Для совершения рабочего хода деформирования маховик соединяется с винтом и по окончании его отсоединяется от винта соединительной муфтой (исполнительный элемент). Поэтому быстроедействие отключения муфты (должно быть на порядок меньше времени совершения хода деформирования), осуществляемое системой управления, является важной технологической и эксплуатационной характеристикой качества управления МВП.

В работе предложена методика проектировочного расчета быстродействующего исполнительного органа МВП с системой диагностического управления, составными частями которой являются: взаимозависимость математических моделей системы «КШМ – инструмент – заготовка – диагностическое управление – исполнительный орган КШМ» (рис. 1); методика расчета динамики срабатывания гидроприводной муфты МВП с импульсным сбрасывающим клапаном (ИСК), являющимся исполнительным органом системы управления; методика синтеза математического обеспечения алгоритмов адаптивного управления МВП. Она позволяет рассчитывать на ЭВМ динамические параметры муфты и синтезировать математическое обеспечение ВП управления.

Математические модели системы «КШМ – инструмент – заготовка – диагностическое управление – исполнительный орган КШМ»

В разработанной системе (рис. 1) важным элементом является система диагностического управления, составными частями которой являются системы контроля, диагностики и управления [2].

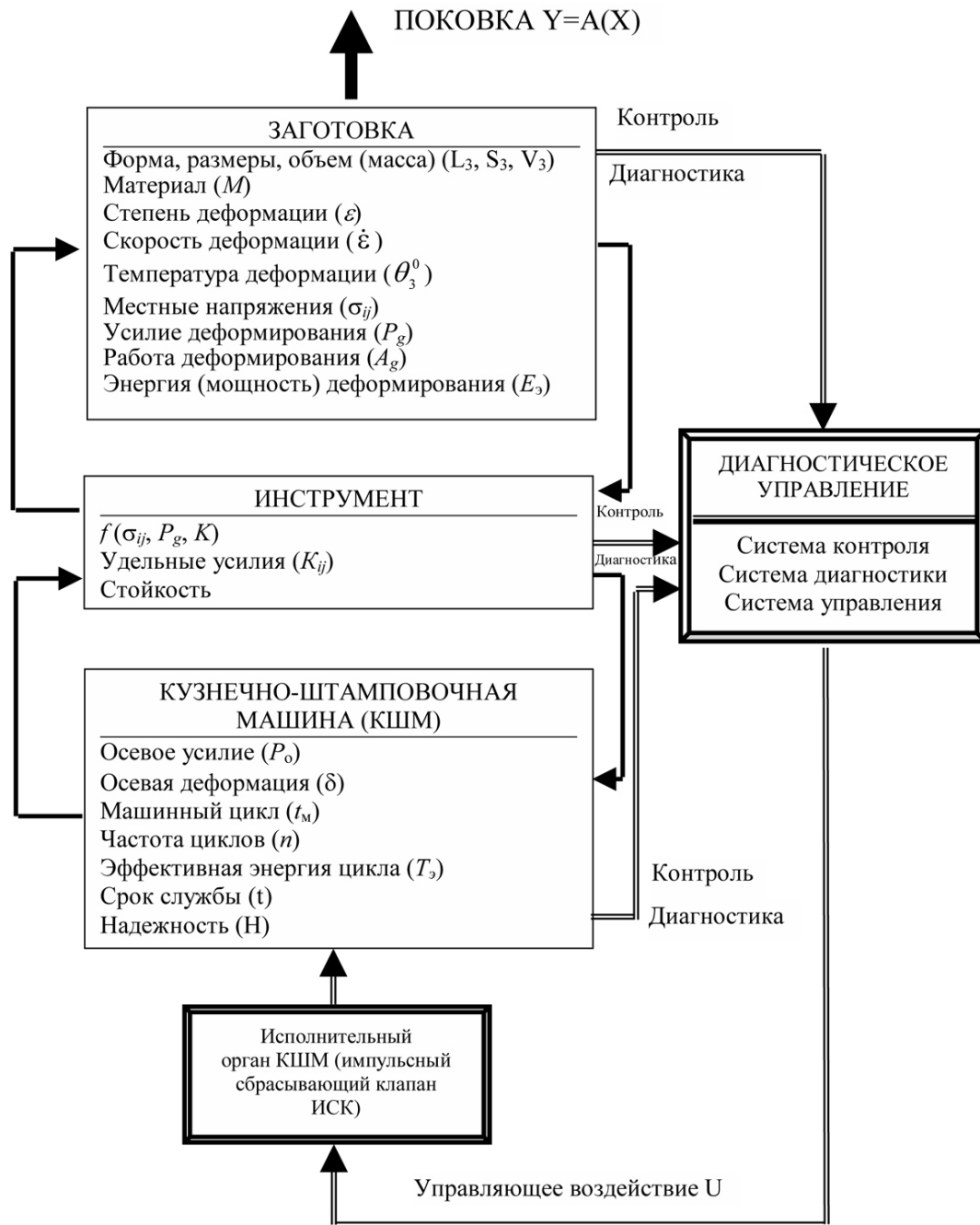


Рис. 1. Взаимозависимость математических моделей системы «КШМ – инструмент – заготовка – диагностическое управление – исполнительный орган КШМ»

Для организации обслуживания, наладки и эксплуатации КШМ в ГПС необходимо постоянно оценивать с помощью средств контроля и диагностики техническое состояние отдельных элементов оборудования и технологического процесса. На дискретный характер работы КШМ оказывают влияние внешние и внутренние факторы. Своевременная информация о техническом состоянии отдельных элементов конструкции КШМ позволит повысить их надежность и долговечность, безопасность, а также осуществлять быструю переналадку и обслуживание в ГПС [3].

Диагностика позволяет обнаружить отказы, дефекты и неисправности и своевременно устранить их в процессе работы и обслуживания ГПС или отключить неисправный и включить резервный канал и обеспечить непрерывное функционирование системы. При диагностировании КШМ в составе ГПС необходимо установить место, способ и средства контроля. При этом выбираются параметры, контроль которых дает наиболее объективную информацию о техническом состоянии машины [4].

Наиболее простыми являются случаи, когда показания датчика выходного параметра КШМ непосредственно характеризуют техническое состояние машины и можно не учитывать влияние посторонних факторов.

Если при этом известна функциональная связь между выходными параметрами состояний и характеристиками состояний (отказов), то можно составить контрольную картотеку изменения параметров для различных первичных неисправностей и диагностировать состояние КШМ или ее элементов.

При адаптивном управлении процессом деформирования на ГПМ необходим контроль параметров заготовки, инструмента, системы управления, привода и рабочих узлов кузнечной машины в исходном состоянии, в процессе деформирования и в конечном состоянии.

К контролируемым параметрам заготовки относятся температура, масса (объем), химический состав, геометрические размеры, наличие микротрещин. Своевременная информация о состоянии заготовки дает возможность вычислять и корректировать в условиях ГПС энергетические и кинематические параметры кузнечной машины, необходимые для получения поковок (штамповок) с размерами в пределах поля допуска при минимальной перегрузке механической системы и привода. При организации непрерывного контроля за состоянием заготовки в процессе деформирования, в особенности для горячей объемной штамповки иковки на КШМ, необходимы датчики, обеспечивающие безотказную и надежную работу в условиях повышенного уровня вибрации, температур, запыленности и загазованности окружающей среды. В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют цифровые бесконтактные датчики [5].

Диагностирование состояния инструмента (температура, деформация, износ) позволяет предупредить поломку инструмента и выход размеров заготовки за пределы поля допуска. По температуре инструмента можно судить о стабильности процесса деформирования и макроструктуре поковок и предупредить возможную потерю устойчивости системы (норма, риск, отказ) [6].

Контроль энергетических и кинематических параметров подвижных частей КШМ дает возможность определить запасенную энергию и усилие деформирования. Диагностирование состояния механической системы КШМ (например, измерение напряжений в станине прессы) может предупредить перегрузку и поломку базовых деталей, а также позволяет косвенно судить о состоянии деформируемой заготовки. Контроль параметров КШМ ударного действия, связан с трудностями обеспечения надежной и безотказной работы датчиков на различных этапах машинного цикла, продолжительность которого составляет несколько долей секунды, а ускорение может достигать 1000g, что затрудняет установку на ней средств контроля и диагностики.

Управление КШМ должно осуществляться только после определения технического состояния рассмотренных элементов системы [1].

Методика расчета динамики срабатывания гидроприводной муфты МВП с ИСК

Проведенные экспериментальные исследования (компьютерное и схемотехническое моделирование; натурные испытания) позволили разработать алгоритм методики расчета динамики срабатывания гидроприводной муфты с ИСК, состоящий из 11 этапов.

1. Анализ конструкции ВП, муфты и гидросистемы и разработка общей динамической модели [7].

На данном этапе производятся следующие действия:

1.1. анализ конструктивной схемы; обоснование допущений и выбор расчетной схемы;

1.2. разбиение схемы на отдельные элементы;

1.3. представление отдельных элементов в виде их механических эквивалентов с сосредоточенными параметрами;

1.4. анализ взаимодействия отдельных элементов и представление взаимодействий механическими эквивалентами;

1.5. синтез фрагментов динамической модели по отдельным сложным узлам и агрегатам конструктивной схемы;

1.6. синтез общей динамической модели по фрагментам.

Результатом этапа является общая многомассовая и многомоментная сосредоточенная динамическая модель гидроприводной муфты МВП.

2. Разработка эквивалентной схемотехнической модели.

Результатом этапа является электротехническая схема, эквивалентная динамической модели, в которой напряжения представляют давления рабочей жидкости, токи – расходы рабочей жидкости, индуктивности – приведенные массы, емкости – упругости, сопротивления – скоростные механические и гидравлические сопротивления, источники напряжения – источник давления, источники тока – источники расхода рабочей жидкости [8].

3. Разработка математической модели.

На данном этапе на основе динамической модели формулируется система дифференциальных уравнений с начальными и граничными условиями, описывающих динамику срабатывания муфты, импульсного клапана, входного и выходного распределителя, динамику давлений и расходов в элементах гидросистемы, динамику разгона и торможения винта с ползуном [9].

4. Предварительный анализ динамики срабатывания, включающий следующие этапы:

- 4.1. формирование таблицы конструктивных параметров ВП, муфты и гидроарматуры;
- 4.2. вычисление приведенных масс и жесткостей элементов;
- 4.3. определение частот собственных колебаний элементов и объединение их в группы по общему порядку частот собственных колебаний;
- 4.4. вычисление чисел Рейнольдса для гидравлических элементов по ориентировочному времени протекания гидравлических процессов;
- 4.5. определение гидравлического режима и вычисление коэффициентов гидравлического сопротивления;
- 4.6. разбиение модели на фрагменты с общим порядком частот собственных колебаний и общим гидравлическим режимом.

Результатом данного этапа является определение совокупности исходных данных для численного расчета, существенно нелинейных элементов модели и фрагментов модели, подлежащих отдельному численному расчету.

5. Численный расчет по нелинейной математической модели.

Результатом данного этапа является программа численного расчета динамики нелинейных фрагментов и получение численных результатов расчетов.

6. Численный расчет по линейной (линеаризованной) модели с применением средств программного комплекса ПА-6.

7. Проведение проверочных расчетов по упрощенным математическим моделям фрагментов.

8. Анализ и сопоставление полученных результатов расчетов по линейной и упрощенной моделям.

9. Корректировка моделей и программ расчета по выявленным существенным неточностям и ошибкам.

10. Повторное проведение расчетов.

11. Выработка рекомендаций по оптимизации проектируемой конструкции МВП, гидроприводной муфты, гидроарматуры. На данном этапе можно проводить оптимизирование параметров гидросистемы привода муфты, например, длин и диаметров гидролиний, масс и эффективных площадей поршней, затворов, золотников [10].

Критериями оптимизации могут служить быстродействие напорного и сливного распределителей, время отключения муфты, энергетические потери маховика на проскальзывание в муфте, скорость поршня муфты при ее включении. Алгоритм методики расчета динамики срабатывания гидроприводной муфты МВП с ИСК приведен на рис. 2.

Методика синтеза математического обеспечения алгоритмов адаптивного управления МВП

Управление МВП может осуществляться по одному из трех способов: по ходу деформирования S_d , по усилию деформирования P_d , по работе деформирования A_d .

Задача программного управления МВП заключается в отключении муфты при достижении одним из параметров S_d , P_d , A_d заданного значения [11].

При управлении по заданному усилию деформирования (P_d) путем регулирования давления в полости муфты, величину давления в полости муфты P , соответствующую заданному усилию деформирования, можно определять по соотношению

$$P = \frac{P_{д1} D_{с1} \operatorname{tg}(\alpha + \operatorname{arctg} \mu_1)}{\mu_2 D_{с2} F n}, \quad (1)$$

где $D_{с1}$, $D_{с2}$ – средние диаметры винта и фрикционного кольца; μ_1 , μ_2 – коэффициент трения в винтовой паре и в муфте; α – угол подъема резьбы винта; F – площадь поршня муфты; n – число пар трения муфты.

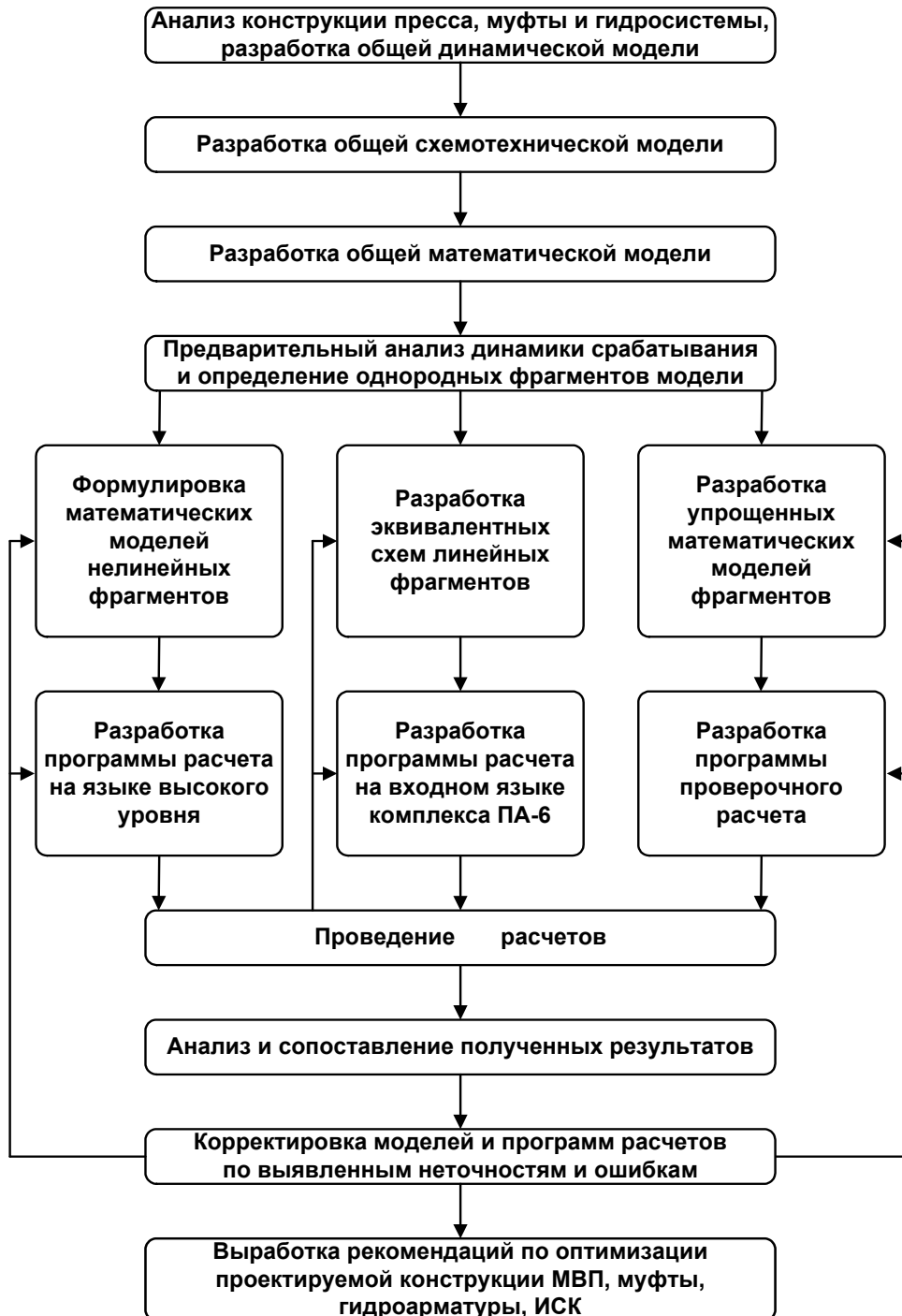


Рис. 2. Алгоритм расчета динамики срабатывания гидроприводной муфты МВП с ИСК

При управлении по величине совершенной работы деформирования A_d с контролем угловой скорости ω маховика, величину угловой скорости, соответствующую заданной работе деформирования, можно определять из соотношения

$$\omega_1 = \left[\frac{2A_{д1}}{\eta_d \left(J_m + J_b + \frac{mh^2}{4\pi^2} \right) - \omega_n^2} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где J_m , J_b – моменты инерции маховика и винта; m – масса ползуна с гайкой и верхним штампом; h – ход резьбы винта; ω_n – номинальная скорость маховика.

Алгоритмы адаптивного управления ВП могут использоваться при управлении как по величине усилия, так и по величине работы деформирования.

Идея адаптивного управления ВП заключается в использовании информации о результатах штамповки, получаемой по обратной связи, для корректировки и уточнения оптимальных величин P_d или A_d в режиме реального технологического процесса. Адаптивное управление позволяет в ходе технологического процесса автоматически уточнять неизвестную или неточно определенную ранее зависимости максимального усилия деформирования или потребной работы деформирования от контролируемых технологических переменных: температуры θ_3 , объема V_3 , химического состава заготовки H_3 и т.д. При этом автоматически учитываются и компенсируются изменения неконтролируемых параметров, например, объема и формы полостей штампов за счет износа [12].

Для осуществления адаптивного управления необходима организация обратных связей по результатам хода деформирования. В соответствии с работой [13] для определения отклонений усилия или работы деформирования от их оптимальных значений на отдельном машинном цикле достаточно одновременно осуществлять контроль величины перемещения ползуна и усилия деформирования на рабочем ходе. По получаемой информации об отклонениях P_d и A_d от оптимальных значений P_d^0 и A_d^0 восстанавливаются линейные многомерные регрессии P_d^0 и A_d^0 на значения контролируемых входных переменных. В этом и заключается сущность математического обеспечения адаптивного управления МВП.

Согласно исследованиям [1], общий алгоритм синтеза математического обеспечения адаптивного управления МВП можно сформулировать в следующем виде:

1) выбор способа адаптивного управления. На данном этапе в зависимости от типа технологической операции, используемых датчиков контроля и исполнительных органов системы управления, вида обратной связи, выбирается один из двух способов управления: по максимальной величине усилия деформирования P_d или по величине потребной работы деформирования A_d ;

2) выбор целевых условий адаптивного управления. На данном этапе принимается решение о целесообразности использования условия гарантированного избежания недоштамповки;

3) выбор уровня надежности избежания недоштамповки;

4) выбор модификации адаптивного регулятора. На данном этапе в соответствии с априорными данными о совокупности контролируемых и неконтролируемых технологических параметров, степени влияния неконтролируемых параметров, мощности процессора системы управления выбирается одна из модификаций адаптивного регулятора в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [13];

5) синтез исходной модели технологического процесса. На данном этапе должны быть выработаны зависимости усилия деформирования или работы деформирования от контролируемых технологических параметров на основании аналитических или экспериментальных исследований;

6) формулировка алгоритма математических операций, реализующих адаптивный регулятор, в соответствии с результатами, полученными в работе [14];

7) разработка программы для процессора системы управления, реализующей алгоритм управления с вычислительными операциями.

Алгоритм методики синтеза математического обеспечения адаптивного управления МВП приведен на рис. 3.

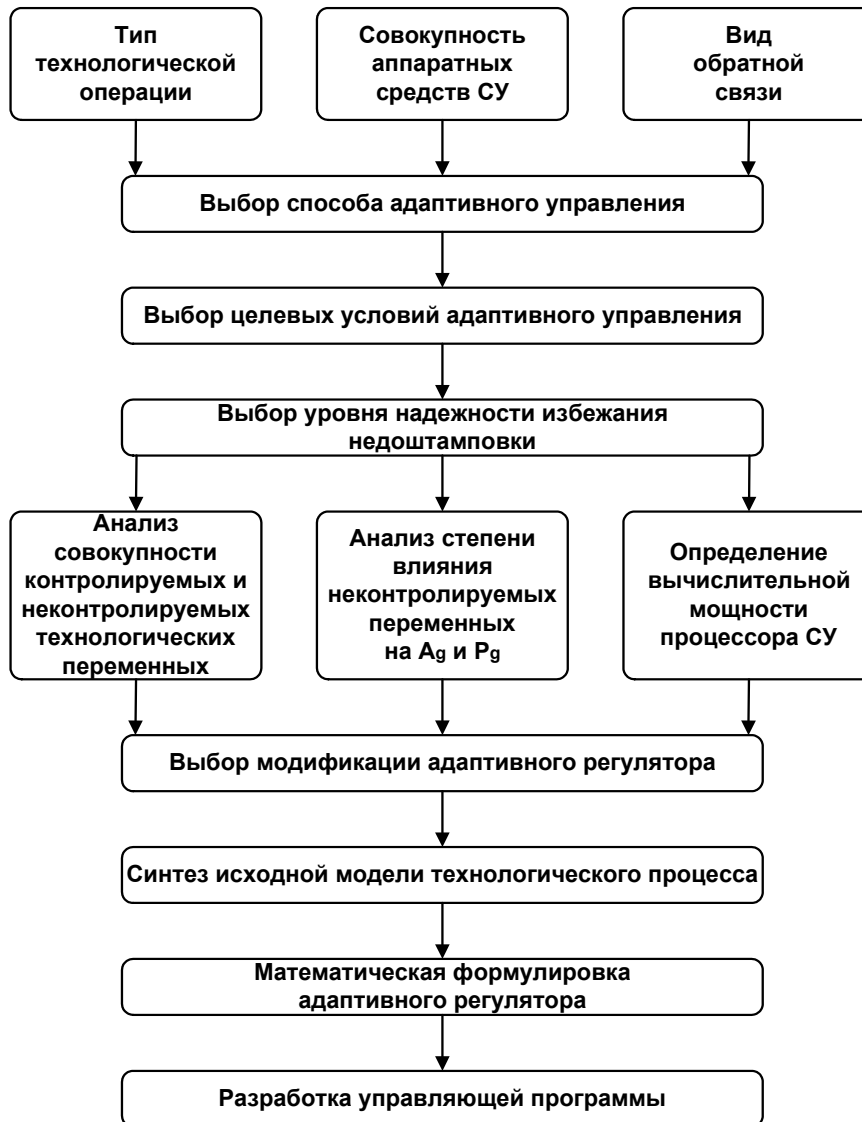


Рис. 3. Алгоритм методики синтеза математического обеспечения адаптивного управления МВП

Таким образом, на основе разработанного алгоритма удастся создать систему адаптивного управления МВП, пользуясь получаемым математическим обеспечением [15].

Заключение

1. В работе изложена методика проекторочного расчета быстродействующего исполнительного органа муфтового винтового пресса (МВП) с системой диагностического управления, предназначенная для разработки и совершенствования надежности технологического оборудования в гибких производственных системах (ГПС) и получения качественной продукции (деталей) ракетно-космической техники и скоростного железнодорожного транспорта из титановых, композитных и наноматериалов и сплавов.

2. Структура требований к системе диагностирования должна включать обеспечение: методическое, лингвистическое, математическое, программное, техническое, эргономическое, а технология производства должна включать системы активного контроля и диагностики параметров технологического процесса и оборудования, включая контроль физических (геометрических, химических, температурных) параметров и т.д. Без контроля показателей качества продукции с помощью современных методов и средств измерения, включая лазерные, инфракрасные, волоконно-оптические датчики и устройства, невозможно обеспечить высокое качество и надежность их изготовления и ремонта, безопасность и экологичность работы.

Библиографический список

1. *Перевертов, В. П.* Управление кузнечными машинами в ГПС / В. П. Перевертов, Ю. А. Бочаров, М. Е. Маркушин. – Куйбышев : Куйбышевское кн. изд-во, 1987. – 160 с.
2. *Перевертов, В. П.* Метрология. Стандартизация. Сертификация : конспект лекций / В. П. Перевертов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Самара : СамГУПС, 2017. – 212 с.
3. А.с. № 1834436 (СССР). Клапан сбрасывающий импульсный / В. П. Перевертов, Ю. А. Бочаров, М. Е. Маркушин и др. // Изобретения. – 1992. – № 39. – С. 23.
4. *Перевертов, В. П.* Повышение качества поковок при горячей объемной штамповке на КШМ ударного действия в ГПС / В. П. Перевертов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2006. – С. 155–158.
5. *Чертыковцева, Н. В.* Программно-аппаратный комплекс оптимизации режимов работы системы охлаждения дизеля тепловоза / Н. В. Чертыковцева, А. В. Иванов, В. П. Перевертов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 408–411.
6. *Перевертов В. П.* Классификация отказов ГПМ обработки материалов давлением / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, М. М. Абулкасимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 2. – С. 143–147.
7. *Перевертов, В. П.* Технология обработки материалов концентрированным потоком энергии / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, М. М. Абулкасимов // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 3(11). – С. 69–79.
8. *Юрков, Н. К.* Технология производства электронных средств : учебник / Н. К. Юрков. – 2-е изд., исправ. и доп. – СПб., 2014. – 480 с.
9. *Перевертов, В. П.* Система умной инфраструктуры РЖД и нанотехнологии / В. П. Перевертов, Н. К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 1. – С. 100–102.
10. *Юрков, Н. К.* Физические основы получения катастрофического отказа в электрорадиокомпонентах и системах / Н. К. Юрков, Н. В. Горячев, Е. А. Кузина // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 1. – С. 102–104.
11. *Мишанов, Р. О.* Выбор электрических параметров интегральных микросхем специального назначения для проведения индивидуального прогнозирования показателей качества и надежности / Р. О. Мишанов, М. Н. Пиганов, В. П. Перевертов // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 2 (22). – С. 43–53.
12. *Абрамов, О. В.* Актуальность проблемы обеспечения надежности / О. В. Абрамов // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 3–7.
13. *Перевертов, В. П.* Качество продукции и услуг РЖД в сочетании с качеством управления / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, М. М. Абулкасимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 2. – С. 116–120.
14. *Перевертов, В. П.* Система диагностирования и технического обслуживания НТТС и ПС в условиях РЖД / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, Н. К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 2. – С. 93–95.
15. *Юрков, Н. К.* Оценка безопасности сложных технических систем / Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 2. – С. 15–21.

References

1. Perevertov V. P., Bocharov Yu. A., Markushin M. Ye. *Upravlenie kuznechnymi mashinami v GPS* [Management of forging machines in the GPS]. Kujbyshev: Kujbyshevskoe kn. izd-vo, 1987, 160 p.
2. Pervertov V. P. *Standartizaciya. Serifikaciya: konspekt lekcij* [Metrology. Standardization. Certification: lecture notes]. 3rd ed. rev. and expanded. Samara: SamGUPS, 2017, 212 p.
3. Perevertov V. P., Bocharov Yu. A., Markushin M. E. et al. *Izobreteniya* [Inventions]. 1992, no. 39, p. 23.
4. Perevertov V. P. *Trudy mezh-dunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Works of the international symposium Reliability and quality]. 2006, pp. 155–158.
5. Chertykovtseva N. V., Ivanov A. V., Perevertov V. P. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2014, vol. 1, pp. 408–411.
6. Perevertov V. P., Andronchev I. K., Abulkasimov M. M. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Works of the international symposium Reliability and quality]. 2016, vol. 2, pp. 143–147.
7. Perevertov V. P., Andronchev I. K., Abulkasimov M. M. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2015, no. 3 (11), pp. 69–79.
8. Yurkov N. K. *Tekhnologiya proizvodstva ehlektronnyh sredstv: uchebnik* [Technology of production of electronic tools: a textbook]. 2nd ed., corr. and suppl. Saint-Petersburg, 2014, 480 p.
9. Perevertov V. P., Yurkov N. K. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2018, vol. 1, pp. 100–102.

10. Yurkov N. K., Goryachev N. V., Kuzina E. A. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2018, vol. 1, pp. 102–104.
11. Mishanov R. O., Piganov M. N., Peververtov V. P. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 2 (22), pp. 43–53.
12. Abramov O. V. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2014, no. 3 (7), pp. 3–7.
13. Perevertov V. P., Andronchev I. K., Abulkasimov M. M. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2017, vol. 2, pp. 116–120.
14. Perevertov V. P., Andronchev I. K., Yurkov N. K. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2018, vol. 2, pp. 93–95.
15. Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem* [Reliability and Quality of Complex Systems]. 2013, no. 2, pp. 15–21.

Перевертов Валерий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра наземных
транспортно-технологических средств,
Самарский государственный университет
путей сообщения
(443066, Россия, г. Самара,
Первый безымянный пер., 18)
E-mail: vperevertov@yandex.ru

Пиганов Михаил Николаевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра конструирования и технологии электрон-
ных систем и устройств,
Самарский национальный исследовательский уни-
верситет имени академика С. П. Королева
(443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)
E-mail: kipres@ssau.ru

Юрков Николай Кондратьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Perevertov Valeriy Petrovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of land transport
and technological means,
Samara State University
of Way of Communication
(443066, 18 Pervyy bezymyannyy lane, Samara, Russia)

Piganov Mikhail Nikolaevich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of construction and technology
of electronic systems and devices department,
Samara National Research University
named after academician S. P. Korolev
(443086, 34 Moskovskoye highway, Samara, Russia)

Yurkov Nikolay Kondrat'evich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of radio equipment design
and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 621.974.8

Перевертов, В. П.

Методика расчета быстродействующего исполнительного элемента кузнечно-штамповочной машины с системой диагностического управления / В. П. Перевертов, М. Н. Пиганов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 40–49. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-3-6.