

УДК 658.681.5

8

В. С. ЗУБКОВ

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРО- И ПНЕВМОСИСТЕМ В АВТОМАТИКЕ

В статье изложена методика управления качеством изделий в машиностроении на примере повышения качества функционирования гидро и пневмосистем в автоматизированных технологических процессах. *Гидросистема; управление качеством; АСУТП; функционирование; функциональный анализ; математическое моделирование; оптимизация*

В связи с внедрением новой техники в производство, механизацией и автоматизацией технологических процессов, ярко выраженной тенденцией к созданию на современных машиностроительных предприятиях роботизированных комплексов, гибких станочных модулей и гибких переналаживаемых технологических систем, работающих при ограниченном участии обслуживающего персонала, возрастает роль гидравлических и пневматических систем управления. От качества функционирования гидро и пневмосистем во многом зависит качество функционирования автоматизированных технологических процессов, безопасность машин в эксплуатации.

Герметичность является одним из основных свойств функционирования гидро- и пневмосистем, обеспечение которой вызывает наибольшие трудности и затраты в процессе производства и эксплуатации.

Анализ гидравлических и пневматических систем различного функционального назначения (рис. 1, 2) показывает, что основной эксплуатационный показатель этих систем — падение давления в системе — зависит от величины наружных утечек. Наружные утечки рабочей среды происходят, как правило, в разъемных ниппельных соединениях трубопроводов и в местах присоединения трубопроводов к контрольно-распределительной и регулирующей аппаратуре — конических резьбовых соединениях (КРС).

Разнообразие конструктивных решений разъемных ниппельных соединений, большое число проведенных научно-исследовательских работ, технологических рекомендаций и методик по изготовлению, сборке и эксплуатации, обеспечивающих их высокое качество в различных условиях (при малых и

больших давлениях, при повышенной температуре и вибрациях) практически свели утечки в них к очень малым величинам. Что же касается конических резьбовых соединений, то утечки в них столь велики в отдельных случаях, что многие предприятия вынуждены применять герметики, что не всегда эффективно и увеличивает трудоемкость сборки и разборки соединений.

Установленные причины нарушения герметичности КРС являются следствием низкой точности отдельных функциональных параметров конической дюймовой резьбы по ГОСТ 6111-52 и несовершенством методов и средств обеспечения качества конической резьбы в процессе производства и сборки.

Отсутствие в литературе необходимых данных по установлению количественных связей показателей точности и показателей напряженно-деформированного состояния КРС при сборке и влияния их на герметичность предопределило исследования в этом направлении.

Проведен функциональный анализ точности, включающий исследование напряженно-деформированного состояния КРС, определение функциональных связей показателей точности и показателей напряженно-деформированного состояния КРС, требований к точности КРС и разработку математической модели функционирования.

Базовые и рабочие модели функционирования позволяют выделить главные управляющие параметры, в том числе и точностные геометрические параметры, такие как точность размеров, формы и шероховатость поверхности.

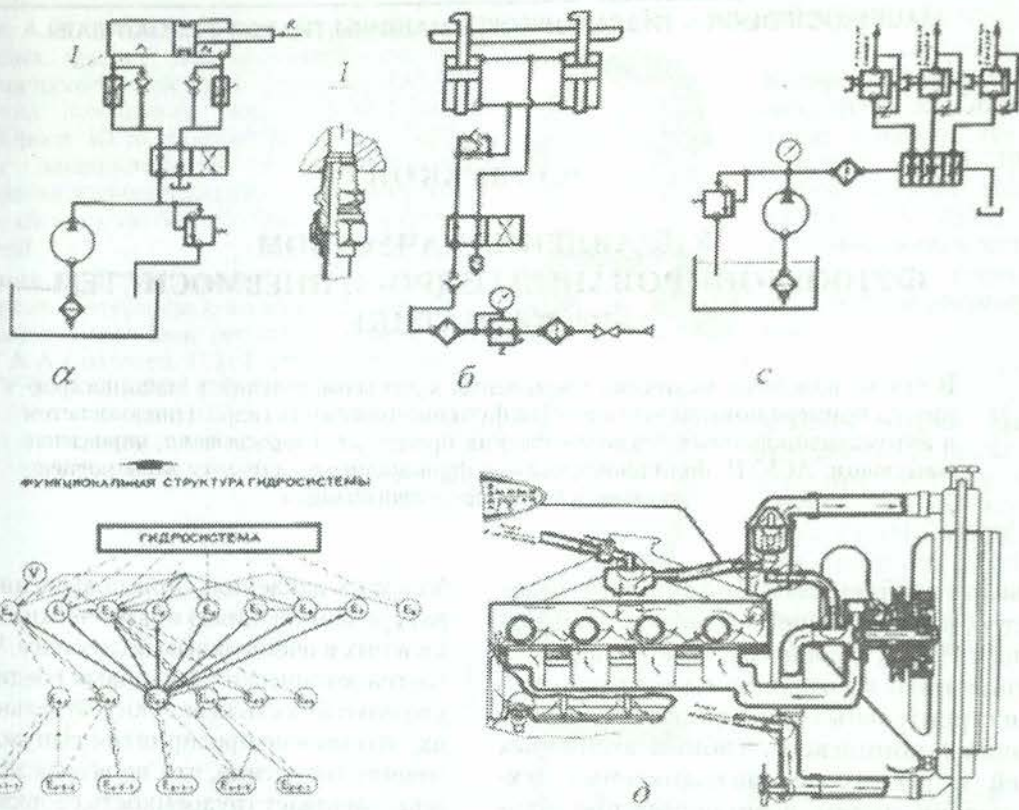


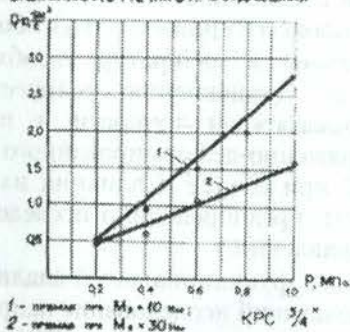
Рис. 1. Типовые схемы гидравлических систем машин различного функционального назначения

УРАВНЕНИЕ БАЛАНСА ДАВЛЕНИЙ

$$p = p_0 + p_1 = \sum p_{\text{пот}} + \sum \Delta p_r + \sum p_r$$

$$\sum \Delta p_r = \sum \Delta p_{\text{кр}} + \sum \Delta p_{\text{тр}}; \quad \sum \Delta p_r = f(\Delta p_{\text{кр}})$$

ЗАВИСИМОСТЬ УТЕЧКИ В КРС ОТ ДАВЛЕНИЯ



ПОТЕРЯ ДАВЛЕНИЯ ОТ УТЕЧКИ В КРС

$$\Delta p_{\text{кр}} = \frac{12 \cdot Q_{\text{кр}} \cdot \rho \cdot l}{\eta \cdot d \cdot \delta^3}$$

ПАДЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ОТ УТЕЧЕК В КРС В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ

Тип	ВИДЫ СИСТЕМ	$\frac{\sum \Delta p_{\text{кр}}}{\sum \Delta p} \cdot 100\%$
а	ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРИВодОВ ГЛАВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЙ	13,6
б	ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗАЖИМА	20 ÷ 45,5
с	СИСТЕМА ПОДАЧИ СМАЗКИ ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ	54,8
д	СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	УСРЕДНЕННЫЕ ПОДЪЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЗА 0,5-2,5 ЧАСА НА 1/2

Рис. 2. Анализ утечек по различным системам

Рассмотрим базовую математическую модель функционирования КРС.

Из закона Дарси для фильтрационного потока [1] величину утечки в КРС можно определить при известном допущении (виток резьбы рассматривается как бы отдельное деформируемое кольцо трапециевидального профиля на жестком основании тела штуцера и корпусной детали) как величину утечки

в кольцевом стыке

$$v = \frac{\kappa_{\text{кр}} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \Delta \cdot \rho \cdot h}{\eta_c \cdot b}, \quad (1)$$

где $\kappa_{\text{кр}}$ — коэффициент проницаемости, мкм; d_2 — средний диаметр кольцевого стыка (витка) резьбы, мкм; $\Delta \rho$ — перепад давлений, Па; h — толщина пористого слоя, мкм; η_c — динамическая вязкость среды, Па·с; b — ширина зоны контакта, мкм.

Принимая толщину пористого слоя с учетом шероховатости и волнистости

$$h = h_0 - y = (Wz_1 + Wz_2) + (R\alpha_1 + R\alpha_2) - y, \quad (2)$$

где h_0 — начальная толщина пористого слоя (без нагрузки), мкм;

y — контактное сближение витков штуцера и корпусной детали;

$Wz_1 + Wz_2$ — средняя высота волн контактирующих поверхностей витков штуцера и корпусной детали, мкм (здесь и далее индексы 1 и 2 относятся соответственно к штуцеру и корпусной детали);

$R\alpha_1 + R\alpha_2$ — высота неровностей профиля витков резьбы штуцера и корпусной детали, мкм;

и, учитывая для резьбы по ГОСТ 25229-82 $b = 1,5 \cdot P$ и кпр согласно [2] для конического резьбового соединения с числом витков n , получим:

$$v = 0,066\pi \cdot (d_2 - 2tg\frac{\varphi}{2} \cdot l_1) \Delta\rho \cdot u \times \frac{[0,6(Wz_1 + Wz_2) + 3(R\alpha_1 + R\alpha_2) - y]^3}{\eta_c \cdot 1,5P \cdot n}, \quad (3)$$

где l_1 — длина наружной резьбы от торца до основной плоскости, мкм;

φ — угол конусности резьбы, град.;

$R\alpha_1$ и $R\alpha_2$ — среднее арифметическое отклонение микропрофиля резьбы штуцера и корпусной детали, мкм; u — константа Кармана.

Величина контактного сближения резьбовых поверхностей

$$y = y_{пл1} + y_{пл2} + y_{уп1} + y_{уп2};$$

здесь $y_{пл}$ и $y_{уп}$ — пластические и упругие контактные деформации резьбы штуцера и корпусной детали, обусловленные наличием шероховатости и волнистости на сопрягаемых резьбовых поверхностях, мкм.

Принимая $n = \frac{l_1 + l_2}{P}$, а $l_1 + l_2 = \kappa Pd^{0,2}$ согласно [3], где $\kappa = 2,9$ при $P = 1,0$ мм; $\kappa = 2,4$ при $P = 1,5$ мм; $\kappa = 2,3$ при $P = 2,0$ мм;

l_2 — длина внутренней резьбы от торца до основной плоскости, мкм;

d — наружный диаметр конической резьбы в основной плоскости, мкм, после соответствующих преобразований получим

$$v = 0,044\pi (d_2 - 2tg\varphi/2 \cdot l_1) \cdot \Delta\rho \cdot u \times \frac{[0,6(Wz_1 + Wz_2) + 3(R\alpha_1 + R\alpha_2) - 1,46P(z)^{0,25} a]^3}{\eta_c \cdot k \cdot P \cdot d^{0,2}}, \quad (4)$$

где v — величина утечки в коническом резьбовом соединении, мкм³/с;

$\rho(Z)$ — удельное давление на контактируемых поверхностях резьбы в сечении Z , Мпа, определяем из [4];

a — коэффициент, учитывающий физико-механические свойства материала [5].

Уравнение (4) является базовой математической моделью функционирования КРС, устанавливающей зависимость величины утечки от физико-механических свойств КРС, факторов внешнего воздействия, геометрических параметров резьбы и позволяющая установить степень влияния перечисленных факторов и параметров на величину утечки в КРС.

Базовая математическая модель функционирования герметичных резьбовых соединений (4) может входить в состав рабочих математических моделей оптимизации параметров для конкретных типов конических резьбовых соединений, решение которых позволяет устанавливать оптимальные параметры и допуски герметичных КРС.

При оптимизации функциональных параметров КРС была сформулирована конкретная цель, т. е. математически описана целевая функция $\Pi = v \rightarrow \min$ при определенных условиях, при которых величина утечки v имеет минимальное значение.

Исходя из условий многократности сборки и разборки резьбовых соединений и требований нормативных документов на величину утечки $v \leq Tv$, где Tv — допуск на величину утечки, определялись ограничения для целевой функции.

Для обеспечения герметичности КРС необходимо, чтобы осевой зазор по боковым сторонам резьбового соединения, образующийся вследствие погрешностей среднего диаметра, шага, угла наклона боковой стороны профиля и угла конуса резьбы, ликвидировался прогибами витков резьбы в упругой стадии при затяжке КРС.

Исходя из расчетной схемы к определению прогибов витков РС, при затяжке прогибы витков резьбы будут

$$\delta_{1,2}(z) = \delta_{1,2}^{(1)} + \delta_{1,2}^{(2)}, \quad (5)$$

где $\delta_{1,2}^{(1)}$ — прогибы (осевые) деформации витков КРС от изгиба и сдвига

$\delta_{1,2}^{(2)}$ — то же, от радиального натяга по вершинам и впадинам РС.

Рассматривая виток резьбы как консольную балку переменного сечения из дифференциального уравнения изогнутой оси

$$El(y) \frac{d^2 z}{dy^2} = M(y) \quad (6)$$

и решения задачи соединения толстостенных труб с натягом, получено функциональное ограничение для целевой функции Ц в виде

$$\delta \ell_1 + \delta \ell_2 \leq 0,14d + 0,028P. \quad (7)$$

Неравенство (7) устанавливает функциональную связь между комплексным показателем точности РС (левая часть неравенства) и комплексным показателем напряженно-деформированного состояния РС — величиной суммарной деформации витков РС (правая часть неравенства), которая выражается через основные параметры резьбы: диаметр d и шаг P .

Для каждого типа резьбового соединения функциональные и областные ограничения вытекают из требований соответствующего государственного стандарта. Например, для КРС по ГОСТ 25229-82 дополнительные функциональные ограничения запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} \ell_1 + \ell_2 &= \text{const}; \\ -0,04 \text{ мм} &\leq \Delta P \leq 0,04 \text{ мм}; \\ -0^\circ 12' &\leq \Delta \varphi / 2 \leq 0^\circ 12', \end{aligned} \quad (8)$$

а областные ограничения на ряд d , d_2 , P и L — из требований ГОСТ 25229.

Экспериментальная оптимизация точности КРС позволила установить оптимальные требования к точности таких геометрических параметров как шаг резьбы P и положение основной плоскости, косвенно отражающее допуск к такому параметру резьбы как средний диаметр резьбы в основной плоскости.

Разработана конструкция герметичного резьбового соединения с скорректированным шагом [6], обеспечивающая перераспределение нагрузки по виткам резьбы на длине свинчивания, путем выбора зазоров в резьбе за счет податливости витков резьбы при затяжке. Это способствует более равномерному распределению контактного давления по профилю резьбы на длине свинчивания, и как следствие, повышению герметичности соединения. Конструкция резьбового соединения внедрена в промышленность.

Анализ основных причин появления утечек в конических резьбовых соединениях машин и агрегатов и математической модели функционирования КРС (4) показал также, что геометрическая форма и состояние поверхности внутренней резьбы, нарезаемой многозубым лезвийным инструментом, оказывает существенное влияние на качество КРС. Отклонение от формы (огранка) внутренней резьбы выходит за пределы допуска на средний диаметр резьбы, а большой диапазон колебаний параметра шероховатости приводит к снижению степени герметичности КРС.

Исследование динамики процесса паразитного резания внутренней резьбы, показывает, что системе сил, действующую на инструмент, можно свести к осевой силе, крутящему моменту, и результирующей радиальной силе P (рис. 3). Последняя действует в плоскости перпендикулярной оси инструмента и оказывает наибольшее влияние на точность формы резьбы (рис. 4).

Вследствие большой величины затылования по профилю резьбы конического метчика и тяжелых условий резания, поскольку снимается стружка малой толщины, контакт режущей части зубьев метчика носит прерывисто-линейный характер. Все это делает положение оси метчика и условий резания нестабильными, что приводит к большому диапазону колебаний параметра R_a .

Погрешности формы (рис. 4), большая шероховатость и локальные отклонения внутренней резьбы в виде задиров и царапин определенной формы зависят в основном от жесткости технологической системы (ТС) и действующих на нее сил.

Из теории резания известно, что функция переменной жесткости $J(u)$ для инструмента с угловым шагом ψ определяется уравнением

$$J(u) = \int_0^{2\pi} (y - e)^2 d\psi, \quad (9)$$

где $y - e$ — отклонение инструмента от положения равновесия.

Величина $y - e$ характеризует отклонение инструмента от положения равновесия, а функция переменной жесткости $J(u)$ для инструмента с угловым шагом ψ определяет суммарное отклонение инструмента от положения равновесия.

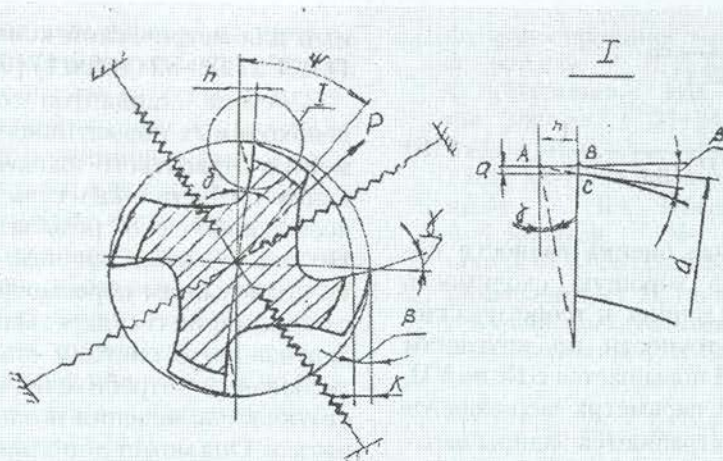


Рис. 3. Схема колебательной системы резцообразующего инструмента: d — наружный диаметр конического метчика в основной плоскости; γ — передний угол метчика; β — задний угол метчика; k — величина затылования резьбы на калибрующей части метчика; h — величина среза перьев метчика; α — толщина среза на один зуб; δ — неравномерность углового шага зубьев метчика; ψ — угловой шаг зубьев метчика

Таким образом, задача повышения технологической жесткости для обеспечения наименьшего отклонения инструмента сводится к управлению параметром ψ инструмента, что лежит в области совершенствования конструкции инструмента.

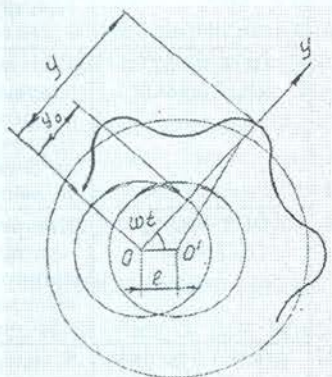


Рис. 4. Схема образования погрешности формы резьбы

При введении ограничения на расположение зубьев, путем симметричного расположения зубьев, имеющих величины углового шага, одинаковые для каждого двух противоположных зубьев, например, при $n = 4\psi_1 = 0,5\pi + \delta$; $\psi_2 = 0,5\pi - \delta$; $\psi_1 = \psi_3$; $\psi_2 = \psi_4$, и исходя из требований улучшения условий резания и обеспечения стабильности центрирования инструмента путем выполнения двух противоположных зубьев калибрующими, величина δ углового шага зубьев инструмента определялась следующим образом (рис. 3).

Из ΔABC имеем

$$BC/h = \text{tg } \beta, \quad (10)$$

где β — задний угол метчика, град.; h — величина среза перьев, соответствующая неравномерности углового шага зубьев.

Величина k равна [7]

$$k = \frac{\pi \cdot d}{z} \text{tg } \beta, \quad (11)$$

где d — наружный диаметр резьбы в основной плоскости, мм; z — число зубьев метчика.

Учитывая, что $BC = \alpha$, а толщина среза равна [7]

$$\alpha = \frac{P \cdot \text{tg } \varphi}{z}, \quad (12)$$

где P — шаг резьбы, мм; φ — угол наклона резьбы калибрующей части метчика, град., и подставляя значение (12) в соотношение (10), получим

$$\frac{P \cdot \text{tg } \varphi}{z \cdot h} = \text{tg } \beta. \quad (13)$$

Из зависимости (11) имеем

$$\text{tg } \beta = \frac{k \cdot z}{\pi \cdot d}. \quad (14)$$

Из соотношений (13) и (14) получим

$$h = \frac{\pi \cdot d \cdot P \cdot \text{tg } \varphi}{k \cdot z^2}. \quad (15)$$

Тогда значение неравномерности углового шага зубьев инструмента для нарезания внутренней конической резьбы будет

$$\delta = \arctg \frac{h}{\left(\frac{d}{r} - \frac{P \cdot \operatorname{tg} \varphi}{z}\right)} = \arctg \left\langle kz \left(\frac{z}{2\pi \cdot P \cdot \operatorname{tg} \varphi} - \frac{1}{\pi \cdot d} \right) \right\rangle. \quad (16)$$

Экспериментальная оценка точности параметра δ показала хорошую сходимость экспериментальных данных и теоретических расчетов. Степень точности по круглости резьбовых отверстий повышается с IX по XII, диапазон колебаний параметра шероховатости составляет $\frac{5,0}{2,5}$, устраняются задиры царапины на поверхности нарезаемой резьбы. Испытания на герметичность образцов с резьбовыми отверстиями, нарезанными инструментом с неравномерностью углового шага δ [8], показали их более высокую степень герметичности.

Установленная на основании теоретических и экспериментальных исследований зависимость (16) неравномерности δ углового шага зубьев режущего инструмента от главного параметра резьбы — $(d \times P)$, легла в основу построения типоразмерного ряда конических метчиков с неравномерностью углового шага зубьев. На основе типоразмерного ряда, с целью унификации, повышения серийности и развития специализации производства режущего инструмента разработан ОСТ 1.52473. Метчики чистовые для конической дюймовой резьбы по ГОСТ 6111-52 для сталей. Конструкция и размеры.

С целью перехода машиностроения на гармонизированную с международными стандартами систему метрических конических резьб с унифицированным профилем резьбы по ISO P 1501, обеспечивающую международную унификацию и более высокие эксплуатационные показатели изделий машиностроения при снижении затрат на ее производство, была разработана комплексная нормативно-техническая документация.

Чтобы повысить уровень взаимозаменяемости и уменьшить номенклатуру изделий, типоразмеров заготовок, размерного режущего инструмента, оснастки и калибров в машиностроении, с использованием основных принципов стандартизации — системности, принципа обеспечения функциональной взаимозаменяемости, принципа взаимосвязки стандартов, научно-исследовательского принципа разработки стандартов, принципа комплексности и оптимального ограничения, создана рациональная система стандартов на инструмент режущий и измеритель-

ный для метрической конической резьбы по ГОСТ 25229-82 (табл. 1) [9, 10].

Система стандартов содержит минимум необходимых нормативно-технических документов отраслевого назначения, обеспечивающих требуемое качество получения метрической конической резьбы по ГОСТ 25229-82. Но она не является чем то неизменным и не подлежащим пересмотру. В соответствии с принципами государственной системы стандартизации в систему стандартов могут по требованию потребителей вноситься соответствующие изменения и она может видоизменяться. Она может дополняться новыми стандартами, рекомендациями и методическими материалами.

Таблица 1

Система стандартов на режущий и измерительный инструмент для метрической конической резьбы по ГОСТ 25229-82

Наименование резьбы	Обозначение документа	Наименование документа
Резьба метрическая коническая по ГОСТ 25229-82	ОСТ 166010-ОСТ 166011	Инструмент режущий для метрической конической резьбы. Конструкция.
	ОСТ 166027-ОСТ 166028	Инструмент режущий для метрической конической резьбы. Технические условия
	ОСТ 166012-ОСТ 166017	Инструмент измерительный для метрической конической резьбы. Конструкция.
	8460-ТР.002-84	Технологические рекомендации «Резьбообразующий инструмент для герметичных конических резьб».
	ММ 675.16-89	Методические материалы «Методика контроля метрических конических резьб»

Проведенные комплексные исследования, разработанные математические модели управления качеством функционирования герметичных соединений трубопроводов, разработанная конструкция герметичного конического резьбового соединения и комплексная нормативная и технологическая документация по нарезанию и контролю герметичных резьбовых соединений в процессе произ-

водства, обеспечивающая переход на международную систему метрических конических резьб, позволяют повысить качество функционирования гидравлических систем машин и АСУ ТП различного функционального назначения, а также конкурентоспособность наших изделий на международных рынках [11, 12].

Методология управления качеством применительно к гидро- и пневмосистемам автоматизированных технологических процессов, изложенная в настоящей статье является отражением основных положений Концепции улучшения качества в машиностроении, представленной автором в [13].

Рассмотренная методика включает функциональный анализ исследуемого объекта, в частности, гидро- и пневмосистем различного функционального назначения, разработку математической модели функционирования, выявление управляющих параметров, влияющих на качество функционирования исследуемого объекта, построение математической модели комплексной оптимизации параметров, разработку технологического и метрологического обеспечения при управлении качеством с выходом на стандартизацию, позволяющую в кратчайшие сроки и при наименьших затратах непосредственно включить результаты НИОКР в серийное производство.

Проведенные комплексные исследования позволяют повысить качество функционирования гидравлических систем машин и АСУ ТП, а также конкурентоспособность наших изделий на международных рынках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демкин, Н. Б. Расход газа через стык контактируемых поверхностей / Н. Б. Демкин // Изв. вузов. Машиностроение. 1976. № 6. С. 40–44.
2. Дулевичус, Н. И. Влияние качества контактирующих поверхностей на герметичность стыка / Н. И. Дулевичус, А. Г. Сулов, С. П. Жедалис // Механика-10 : тр. конф. по развитию техн. наук в республике и использованию их результатов. Каунас : Каунасск. политехн. ин-т. 1979. С. 119–124.
3. Медовой, И. А. Новый стандарт на коническую метрическую резьбу / И. А. Медовой // Измерительная техника. 1977. № 8. С. 34–36.
4. Зубков, В. С. Распределение давления по виткам затянутого конического резьбового соединения / В. С. Зубков. Уфа : Уральск. филиал НИИД, 1984. 10 с. Деп. в ВИНИ 30.03.85. № Д06531.
5. Колчков, В. И. Разработка математической модели для управления качеством

функционирования герметичных резьбовых соединений / В. И. Колчков, В. С. Зубков, С. В. Муравьев // Изв. вузов. Машиностроение. 1990. № 7. С. 31–34.

6. Зубков, В. С. А. с. 1216466 (СССР), МКИ F16B 33/04. Коническое резьбовое соединение / В. С. Зубков, А. Д. Никифоров, В. И. Колчков. № 3664399/25-27 ; Оpubл. 07.03.86 ; Бюл. 9.
7. Семенченко, И. И. Проектирование металлообрабатывающих инструментов / В. М. Семенченко, В. М. Матюшин, Г. Н. Сахаров. М. : Mashiz, 1962. 952 с.
8. Зубков, В. С. А. с. 891283 (СССР), МКИ В 23G5/06. Метчик для парезания конической резьбы / В. С. Зубков, Н. П. Бянкин, Р. Х. Мустаев. 2899056/25-08 ; Заявл. 26.03.80 ; Заявл. 21.08.81.
9. Зубков, В. С. Особенности перехода отрасли на метрическую коническую резьбу по ГОСТ 25229-82 / В. С. Зубков // Вопросы авиационной науки и техники. Сер. Стандартизация и унификация авиационной техники. М. : НИИСУ, 1991. Вып. 2. С. 27–29.
10. Зубков, В. С. Изыскание и разработка прогрессивных схем и средств контроля метрических резьб по ГОСТ 16093-81 / В. С. Зубков // Авиационная промышленность. 1993. № 3-4. С. 64–65.
11. Бакиев, А. В. Обеспечение конкурентоспособности нефтегазового оборудования методами повышения качества / А. В. Бакиев, В. С. Зубков // Научно-технические проблемы машиностроения : сб. науч. тр. Уфа : Гилем, 2000. С. 148–163.
12. Зубков, В. С. Методологические основы управления качеством и обеспечения конкурентоспособности изделий машиностроения / В. С. Зубков // Машиноведение, конструкционные материалы и технологии : сб. науч. тр. Уфа : Гилем, 2002. С. 8–19.
13. Зубков, В. С. Концепция улучшения качества в машиностроении / В. С. Зубков // Проблемы машиноведения и критических технологий в машиностроительном комплексе Республики Башкортостан : сб. науч. тр. Уфа : Гилем, 2005. С. 288–294.

ОБ АВТОРЕ



Зубков Владимир Степанович, доц. каф. станд. и сертиф. Дипл. инж. по техн. машиностр. (УАИ, 1971). Канд. техн. наук по метрол., станд. и упр-ю кач. продукции (МВТУ им. Баумана, 1987). Иссл. в обл. проблем качества продукции.