

УДК 681.518

А.Ю. Панов, М.С. ТрофимоваНижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,
Нижний Новгород, Россия**ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

В задачах перспективного планирования качества продукции машиностроительной отрасли при ее проектировании большое значение имеет определение ключевых параметров, влияющих на уровень качества изделий и их техническое состояние в процессе эксплуатации. Поэтому важной проблемой управления качеством изделий машиностроения является идентификация информационной модели формирования качества как динамической модели.

Рост производства высокотехнологичной продукции с постоянно обновляемым модельным рядом требует организации последовательно-параллельного выполнения этапов подготовки производства, позволяющего повысить эффективность процессов проектирования. В связи с развитием технологического прогресса актуальной является задача разработки информационного сопровождения процессов управления качеством, позволяющего выполнять оперативную работу по устранению и предупреждению дефектов, определять состояние системы управления качеством проектирования изделий в любой момент времени.

Проблемам идентификации динамических моделей управления посвящены работы следующих ученых: М.А. Arbib, Р.Е. Kalman, Р. Falb, Н.П. Бусленко, В. Стрейц, В.В. Андреев, Е.В. Тесленко и др. Эти проблемы достаточно изучены, однако современные высокие требования к качеству выпускаемой продукции ставят задачу развития существующих исследований ученых применительно к области управления качеством изделий.

В статье описано множество параметров, характеризующих уровень качества изделий в определенные моменты времени, приведена схема управления процессом формирования параметров качества изделий машиностроения, предложена теоретико-множественная модель, описывающая поведение динамической системы управления качеством при проектировании изделий машиностроения. Сформулированы утверждения и описаны доказательства правильности этих утверждений. Предложенная динамическая модель предназначена для принятия конструкторских решений при проектировании новых изделий и внесении изменений в конструкцию уже выпускаемой продукции.

Ключевые слова: динамическая модель, управление качеством, проектирование, изделия машиностроения.

A.Yu. Panov, M.S. Trofimova

Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russian Federation

DYNAMIC MODEL OF MANAGEMENT OF QUALITY OF DESIGN OF PRODUCTS OF MECHANICAL ENGINEERING

In the problems of advance planning of quality of production of machine-building branch at her design determination of the key parameters influencing level of quality of products and their technical condition in use is of great importance. Therefore an important problem of management of quality of products of mechanical engineering is identification of information model of formation of quality as dynamic model.

Increase in production the hi-tech products with constantly updated model range demands the organization of serial-parallel performance of stages of preparation of the production allowing to increase efficiency of a designing process. Due to the development of technological progress, the problem of development of the information maintenance of processes of management of quality allowing to perform operational work on elimination and prevention of defects, to define a condition of a control system of quality of design of products at any moment is relevant.

Works of the following scientists are devoted to problems of identification of dynamic models of management: M.A. Arbib, R.E. Kalman, P. Falb, N.P. Buslenko, V. Streyts, V.V. Andreyev, E.V. Teslenko and others. These problems are rather studied, however modern high requirements to quality of products set a task of development of the existing researches of scientists in relation to the field of quality management of products.

In article the sets of parameters characterizing level of quality of products in certain time points are described, the scheme of management of process of formation of parameters of quality of products of mechanical engineering is provided, the set-theoretic model describing behavior of a dynamic control system of quality at design of products of mechanical engineering is offered. Statements are formulated and proofs of correctness of these statements are described. The offered dynamic model is intended for adoption of design decisions at design of new products and modification of a design already to products.

Keywords: dynamic model, quality management, design, mechanical engineering products.

Введение. Большой вклад в развитие современной теории систем внесли ученые R.E. Kalman, M.A. Arbib и P. Falb, опубликовавшие в 1971 г. книгу «Очерки по математической теории систем» [1]. В книге было предложено математическое описание динамической модели, идентификация и оптимизация систем управления, впервые сформулирован закон управления: «Значение входного воздействия в каждый момент времени зависит лишь от состояния системы $x(t)$ в этот момент времени, а также возможно от t ». Предложенный закон основан на принципе Р. Беллмана, сформулированном в середине 50-х гг. и заключающемся в том, что входные воздействия должны вычисляться через состояния системы [1]. Учеными предлагается рассматривать объекты в пространстве параметров (ПП) [2, 3, 4] и пространстве состояний (ПС) [5, 6, 7]. Также учеными сформулировано утверждение,

что «в текущем состоянии системы содержится вся информация, необходимая для определения требуемого управляющего воздействия, поскольку будущее поведение объекта полностью определяется его нынешним состоянием и будущими управляющими воздействиями» [1]. Данное утверждение актуально и при управлении качеством изделий машиностроения [8,9], потому что в зависимости от текущего состояния качества изделия принимается решение о методах его улучшения. Одним из актуальных способов повышения качества продукции является применение в информационном сопровождении процессов жизненного цикла изделий системы формул функциональной компьютерной систематики [10]. Этот метод показал свою эффективность при проектировании динамических систем. В зависимости от конкретной области исследований существуют определенные рекомендации по проектированию технических систем (ТС) [11–13]. Н.П. Бусленко, занимающийся вопросами моделирования сложных систем, считал, что проектируемую техническую систему можно рассматривать как агрегат [14]. Пространство состояний можно назвать одним из основных методов описания состояния динамической системы [15]. Теорию пространства состояний систематизировал В. Стрейц в своей работе «Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления» [12]. В. Стрейц предложил описание систем управления в виде уравнений состояний и подробно изучал вопросы идентификации объектов управления. Описание систем в пространстве состояний позволяет обнаружить и исследовать такие свойства, которые при использовании классических методов частотного анализа и описания в терминах «вход-выход» остались бы скрытыми [14]. Тема идентификации динамических систем нашла свое развитие в работах современных ученых В.В. Андреева и Е.В. Тесленко [16–19]. Учеными разработана динамическая модель управления конструкторско-технологическим взаимодействием в системах автоматизированного проектирования (САПР) как структурно-параметрическая модель в пространстве состояний, позволяющая описывать процесс формирования конструктивно-технологических параметров при проектировании детали.

На основании проведенного анализа можно сделать следующий вывод: для эффективного управления качеством изделий машиностроения необходима идентификация модели управления качеством как динамической модели.

Разработка и анализ динамической модели управления качеством проектирования изделий машиностроения. Одним из критериев, характеризующих уровень качества выпускаемой продукции, являются рекламации от потребителей, возникающие когда мгновенные значения выходных параметров из множества $\{Y\}$ выходят за границы допустимых значений этих параметров из множества $\{G\}$. Связь между состоянием системы и ее выходными характеристиками Y , предопределяемыми множеством $\{G\}$, устанавливается оператором H . Функциональную взаимосвязь качества изделия от качества объектов (O), на которые оно оказывает воздействие, и характера этого воздействия (B) устанавливает внутренний оператор системы Φ . Характеристики изделия, регламентируемые стандартами и требованиями потребителей, основанные на анализе данных об аналогах, рекламациях, образуют множество мгновенных значений входных воздействий $\{U\}$, ограниченных множеством допустимых входных воздействий $\{\Omega\}$. Состояния изделия на этапах его жизненного цикла образуют множество состояний системы $\{X\}$. Моменты времени, фиксирующие изменение состояний системы, образуют множество моментов времени $\{T\}$. Исходя из этого, простые детали машиностроения можно рассматривать как агрегат, сложное изделие – как множество взаимосвязанных агрегатов, описываемых независимо от функциональных особенностей обобщенными математическими моделями вида $\Sigma = \{T, X, U, \Omega, Y, G, \Phi, H\}$ [1].

При моделировании процесса управления качеством изделий машиностроения предлагается использовать теоретико-множественную модель технической системы как объекта проектирования: $Y = F(X, \Lambda, U)$ [20], где X – вектор функциональных и конструктивно-технологических параметров системы, определяющий состояния технической системы в зависимости от изменения внешних условий; U – вектор управляющих воздействий (данные об аналогах, отзывы и рекламации потребителя, техническое задание); Y – вектор выходных параметров детали; F – теоретико-множественный функционал, выражающий соответствие $q = (X, Y, F)$ с учетом воздействия внешних факторов Λ и управляющих воздействий U [20] (рисунок).

Для параметров KT , O , B введем множество допустимых значений D_{KT} , D_O , D_B соответственно. Теоретико-множественная модель, определяющая связь между выходным параметром Y , входными параметрами U и U^* , состояниями системы в зависимости от парамет-

ров элементов $KT, D_{KT}, O, D_O, B, D_B$ при воздействии внешних факторов Λ , будет выглядеть следующим образом:

$$Y = F(T, S, U, U', KT, D_{KT}, O, D_O, B, D_B, \Lambda). \quad (1)$$

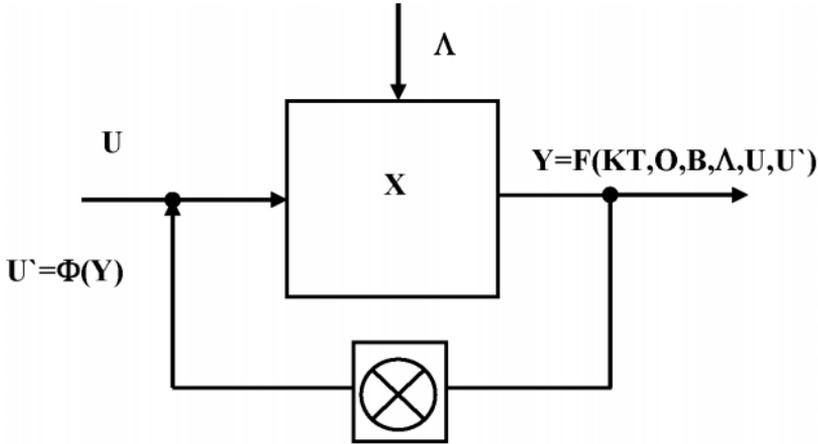


Рис. Схема управления процессом формирования параметров качества изделий машиностроения

Утверждение 1

Теоретико-множественная модель (1) описывает поведение динамической системы управления качеством при проектировании изделий машиностроения.

Доказательство

Определим свойства модели управления качеством изделий машиностроения.

1) Заданы следующие множества: множество моментов времени T ; множество состояний S ; множества значений, определяемых входным управлением системы $KT, D_{KT}, O, D_O, B, D_B, \Lambda$, определенных техническим заданием; способ преобразования $\Psi = \{\psi: T \rightarrow Z\}$; множества выходных значений Y , определенных техническим заданием; способ преобразования $F = \{f: T \rightarrow Y\}$; способ преобразования $\Phi = \{\varphi: T \rightarrow U\}$ [19].

2) Направление времени.

Множество T – упорядоченное подмножество множества действительных чисел – дискретных отсчетов времени $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$.

3) Пространство допустимых входных функций Φ удовлетворяет следующим условиям:

а) нетривиальность.

Множества $D_{КТ}$, D_O , D_B непустые. Система (см. рисунок) замкнута. Основная функция информационной системы – изменение $КТ, O, B$ с целью поиска оптимального значения Y при соблюдении ограничений $U \in D_{КТ}$, $U \in D_O$ и $U \in D_B$;

б) сочленение входных воздействий.

Входной «отрезок» $\varphi(t_1, t_2)$ – функция $\varphi \in \Phi$, заданная на временном интервале $(t_1, t_2] \cap T$. Если $\varphi, \varphi' \in \Phi$ и $t_1 < t_2 < t_3$, то найдется функция $\varphi'' \in \Phi$, для которой $\varphi''(t_1, t_2) = \varphi(t_1, t_2)$ и $\varphi''(t_2, t_3) = \varphi'(t_2, t_3)$ [19].

4) Задана переходная функция состояния f , которая определяет состояние $s(t) = f(t; \tau, s, \varphi) \in S$, достигнутое в момент времени $t \in T$ при входном воздействии $\varphi \in \Phi$, если в начальный момент времени $\tau \in T$ начальное состояние $s = s(\tau) \in S$. Функция f обладает следующими свойствами:

а) направление времени.

Функция f определена для всех значений $t \geq \tau$ и необязательно определена для всех значений $t < \tau$ [19];

б) согласованность.

Равенство $f(t; t, s, D_{КТ}, D_O, D_B) = s$ выполняется при всех $t \in T, s \in S, \varphi \in \Phi$;

в) композиционное свойство.

Для любых значений $t_1 < t_2 < t_3$ и любых состояний $s \in S$ и всех входов $\varphi \in \Phi$ имеет место: $f(t_3; t_1, s, \varphi) = f(t_3; t_2, f(t_2; t_1, s, \varphi), \varphi)$ [19];

г) причинность.

Если $\varphi, \varphi' \in \Phi$ и $\varphi(t; \tau) = \varphi'(t; \tau)$, то $f(t; \tau, s, \varphi) = f(t; \tau, s, \varphi')$ [16].

5) Существует соответствие выхода $q: T \times S \rightarrow Y$, определяющее выходную величину $y(t) = q(t, s(t))$. Соответствие $q(\sigma, f(\sigma; \tau, s, \varphi))$ при $\sigma \in (\tau, t]$ является выходным отрезком $f(t; \tau]$ некоторой выходной функции F , которая задана на интервале $(t; \tau]$. Пара $(\tau, s]$, где $\tau \in T$ и $s \in S$, представляет событие в динамической системе Σ [19]. Множество $T \times S$ определяет пространство событий в этой системе.

Система является физически реализуемой, если ее выход и состояние в произвольный момент времени t_0 являются функцией только от тех входов, которые воздействуют на систему до момента времени t_0 [19]. Система детерминирована, так как ее выход и состояние в любой момент времени t можно достоверно определить по ее состоянию в некоторый момент времени $t_0 < t$ и по известному входу из полузамкнутого интервала $[t_0, t)$ [19].

Полученные свойства 1–5, 3а, 3б, 4а, 4б, 4в, 4г строго соответствуют аксиомам динамической системы Р. Калмана [1], что позволяет предложенную модель управления качеством при проектировании изделий машиностроения $Y=F(T,S,KT,D_{KT},O,D_O,B,D_B,\Lambda)$ отнести к разновидности динамических моделей. Что и требовалось доказать.

Предложенная модель позволяет описывать функционирование системы информационного сопровождения при формировании качества изделий машиностроения и идентифицировать ее.

Модель $Y=F(T,S,KT,D_{KT},O,D_O,B,D_B,\Lambda)$ предназначена для принятия конструкторских решений при проектировании новых изделий и внесении изменений в конструкцию уже выпускаемой продукции.

Пример. При проектировании ступицы заднего колеса, входящей в устройство заднего моста грузового автомобиля [10], принятие управленческих решений будет зависеть от конструктивно-технологических параметров **КТ** (характеризующих деталь как неоднородно-комбинированную, которая относится к классу «вращения», подклассу «круглые»), параметра **О** (характеризующего качество задних колес, на которые оказывает функциональное воздействие ступица) и параметра **В** (характеризующего воздействие ступицы на задние колеса). В то же время параметры **КТ**, **О** и **В** имеют свои ограничения **D_{КТ}** (количество крепежных отверстий, диаметр окружности в миллиметрах, на которой расположены крепежные отверстия и другие), **D_О** (наружный диаметр колеса, диаметр центрального отверстия колеса, вылет и другие), **D_В** (сила затяжки болтов, количество оборотов резьбы при затягивании болта). Также перспективное управление качеством будет зависеть от состояния качества ступицы **S** в различные моменты времени **T** при испытаниях и при эксплуатации, которое будет изменяться под влиянием факторов внешних воздействий на исследуемую деталь **Λ**. В результате будут принято решение о выборе оптимальной конструкции изделия **U** и о последующем внесении изменений в конструкцию **U'** с целью повышения качества выпускаемой продукции.

Утверждение 2

Поведение динамической модели системы управления качеством при несоответствии параметров **КТ**, **О**, **В** допустимым значениям **D_{КТ}**, **D_О**, **D_В** может быть описано следующей функциональной зависимостью:

$$\bar{Y} = \bar{F}((\overline{KT}(t_0 \vee t_1)) \wedge (\vee)(\overline{O}(t_0 \vee t_2)) \wedge (\vee)\overline{B}(t_0 \vee t_3), \Lambda(t_0, t_1, t_2, t_3)), \quad (2)$$

запись означает, что отказ (дефект) может возникнуть в результате неверно назначенных одного или совокупности параметров КТ, О и В при проектировании изделия (t_0) под влиянием внешних воздействий Λ или в результате изменения значений параметров в процессе проведения испытаний или эксплуатации изделия в моменты времени t_1, t_2, t_3 в зависимости от внешних воздействий Λ . При этом моменты времени могут быть равны ($t_1=t_2=t_3$) или различаться.

Утверждение 3

Поведение динамической модели системы управления качеством при $\mathbf{КТ} \rightarrow \mathbf{0}$ будет $\bar{\mathbf{Y}} \rightarrow 0$ или $\bar{\mathbf{Y}} = 0$.

Параметр КТ характеризует форму и конструктивные особенности изделия. Поэтому при изменении этого параметра (например, при износе или разрушении) возникнет отказ, и система будет работать с нарушением функций или не сможет продолжать функционировать.

Утверждение 4

Поведение динамической модели системы управления качеством при условиях $\mathbf{O} \rightarrow \mathbf{0}$ и (или) $\mathbf{B} \rightarrow \mathbf{0}$ может иметь вид: $\bar{\mathbf{Y}} = 0$ или $\bar{\mathbf{Y}} = \bar{\mathbf{F}}(\mathbf{КТ}, \bar{\mathbf{O}} \wedge (\vee) \bar{\mathbf{B}}, \Lambda)$.

Параметры О и В характеризуют качество объекта, на который проектируемое изделие оказывает воздействие, и характер этого воздействия. Поэтому при уменьшении значений этих параметров система может как перестать функционировать, так и продолжить работать, но выполняя функции с нарушением качества работоспособности узла, в который установлено изделие.

Выводы. Таким образом, проведенный анализ построенной динамической модели управления качеством изделий машиностроения дает возможность определить эту модель как структурно-параметрическую в пространстве состояний. Модель позволяет описывать функционирование информационного сопровождения в процессе формирования функциональных и конструкторско-технологических параметров при проектировании изделий и используется в работе промышленных предприятий машиностроительной отрасли.

Библиографический список

1. Калман Р.Э., Фалб П., Арбиб М.Е. Очерки по математической теории систем / пер. с англ. Э.Л. Наппельбаума; под. ред. Я.З. Цыпкина. – 2-е изд. стер. – М: Едиториал УРСС, 2004. – 400 с.

2. Гладковский С.В., Кумков С.И. Использование методов аппроксимации для изучения особенностей процесса разрушения и прогнозирования трещиностойкости высокопрочных сталей // Вестник Пермского государственного технического университета. Математическое моделирование систем и процессов. – 1997. – № 5. – С. 26–34.

3. Болотов М.А., Печенин В.А., Мурзин С.П. Метод оценки неопределённостей пространственного сопряжения высокоточных деталей с использованием оптических измерений // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 3. – С. 360–369.

4. Гусев С.С., Чадеев В.М. Алгоритм идентификации с переходом в пространство параметров // Проблемы управления. – 2009. – № 1. – С. 18–21.

5. Алгоритм моделирования систем автоматического управления методом пространства состояний / С.С. Михалевич, С.А. Байдали, И.П. Чучалин, В.А. Москалев // Известия Томск. политехн. ун-та. – 2012. – Т. 321, № 5. – С. 233–237.

6. Данеев А.В., Русанов В.А. Геометрический подход к решению некоторых обратных задач системного анализа // Известия высших учебных заведений. Математика. – 2001. – № 10(473). – С. 18–28.

7. Бычков А.С., Иванов Е.В., Касьянюк В.С. Теоретико-множественный подход к моделированию систем нечёткой структуры // Математические машины и системы. – 2012. – № 4. – С. 115–124.

8. Полетаев В.А., Кулак И.В. Интегрированные системы обеспечения качества изделий машиностроения // Вестник Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2004. – С. 79–83.

9. Чигиринский Ю.Л., Смирнов Б.К. Управление качеством изготовления деталей машин на этапе технологической подготовки механообрабатывающего производства // Известия ВолгГТУ. – 2016. – С. 46–48.

10. Панов А.Ю., Трофимова М.С. Методика построения функциональной системы агрегата транспортного средства // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2016. – № 20. – С. 50–61.

11. Хранилов В.П. Идентификация внутренних операторов моделей управления для задач проектирования технических систем // XII Всерос. совещание по проблемам управления. ВСПУ-2014:

сб. науч. тр. / Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – М., 2014. – С. 3281–3288.

12. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления / пер. с англ. под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1985. – 296 с.

13. Пупков К.А., Егунов Н.Д., Баркин А.И. Методы классической и современной теории автоматического управления: в 3 т. Т. 3: Методы современной теории автоматического управления / под ред. Н.Д. Егунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 748 с.

14. Никульчев Е.В. Геометрический подход к моделированию нелинейных систем по экспериментальным данным. – М.: Изд-во МГУП, 2007. – 162 с.

15. Родина Л.И. Оценка статистических характеристик множества достижимости управляемых систем // Известия вузов. Математика. – 2013. – № 11. – С. 20–32.

16. Андреев В.В., Тесленко Е.В. Автоматическое формирование массива конструктивно-технологических признаков деталей интеллектуальной информационной системой // Вестник Белгород. технолог. ун-та им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 3. – С. 170–174.

17. Андреев В.В., Тесленко Е.В. Информационная модель массива параметров деталей машиностроения для системы технологического и метрологического сопровождения процесса проектирования // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 3. – Р. 40–44.

18. Андреев В.В., Тесленко Е.В., Хранилов В.П. Динамическая модель управления конструкторско-технологическим взаимодействием в САПР // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 3. – С. 64–67.

19. Андреев В.В., Тесленко Е.В., Хранилов В.П. Анализ динамической модели управления конструкторско-технологическим взаимодействием в САПР // Тр. Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 5(102). – С. 177–182.

20. Методы проектирования информационно-управляющих и телекоммуникационных систем / В.Г. Баранов, Л.М. Вдовин, Т.И. Горячева, В.А. Кольцов, В.Р. Милов, С.Л. Моругин, В.П. Хранилов, М.В. Ширяев / под ред. В.Р. Милова, В.Г. Баранова. – М.: Радиотехника, 2016. – 216 с.

References

1. Kalman R.E., Falb P., Arbib M.E. Oчерки po matematicheskoi teorii sistem [Sketches according to the mathematical theory of systems]. 2nd. ed. Ed. Ia.Z. Tsypkina. Moscow: Editorial URSS, 2004. 400 p.
2. Gladkovskii S.V., Kumkov S.I. Ispol'zovanie metodov approksimatsii dlia izucheniia osobennostei protsessa razrusheniia i prognozirovaniia treshchinostoikosti vysokoprochnykh stalei [Use of methods of approximation for studying of features of process of destruction and forecasting of crack resistance high-strength staly]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Matematicheskoe modelirovanie sistem i protsessov*, 1997, no. 5, pp. 26-34.
3. Bolotov M.A., Pechenin V.A., Murzin S.P. Metod otsenki neopredelennosti prostranstvennogo sopriazheniia vysokotochnykh detalei s ispol'zovaniem opticheskikh izmerenii [Method of assessment of uncertainty of spatial interface of high-precision details to use of optical measurements]. *Komp'iuternaia optika*, 2016, vol. 40, no. 3, pp. 360-369.
4. Gusev S.S., Chadeev V.M. Algoritm identifikatsii s perekhodom v prostranstvo parametrov [The algorithm of identification with transition to space of parameters]. *Problemy upravleniia*, 2009, no. 1, pp. 18-21.
5. Mikhalevich S.S., Baidali S.A., Chuchalin I.P., Moskalev V.A. Algoritm modelirovaniia sistem avtomaticheskogo upravleniia metodom prostranstva sostoianii [The algorithm of modeling of systems of automatic control of method of space of states]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2012, vol. 321, no. 5, pp. 233-237.
6. Daneev A.V., Rusanov V.A. Geometricheskii podkhod k resheniiu nekotorykh obratnykh zadach sistemnogo analiza [Geometrical approach to the solution of some return tasks of the system analysis]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Matematika*, 2001, no. 10(473), pp. 18-28.
7. Bychkov A.S., Ivanov E.V., Kas'ianiuk V.S. Teoretiko-mnozhestvennyi podkhod k modelirovaniuu sistem nechetkoi struktury [Set-theoretic approach to modeling of systems of indistinct structure]. *Matematicheskie mashiny i sistemy*, 2012, no. 4, pp. 115-124.
8. Poletaev V.A., Kulak I.V. Integrirovannye sistemy obespecheniia kachestva izdelii mashinostroeniia [The integrated systems of ensuring quality of products of mechanical engineering]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2004, pp. 79-83.

9. Chigirinskii Iu.L., Smirnov B.K. Upravlenie kachestvom izgotovleniia detalei mashin na etape tekhnologicheskoi podgotovki mekhanootbrabatyvaiushchego proizvodstva [Quality management of production of details of cars at a stage of technological preparation of machining production]. *Izvestiia Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, pp. 46-48.

10. Panov A.Iu., Trofimova M.S. Metodika postroeniia funktsional'noi sistemy agregata transportnogo sredstva [Method of construction of the functional system of the aggregate of the vehicle]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2016, no. 20, pp. 50-61.

11. Khranilov V.P. Identifikatsiia vnutrennikh operatorov modelei upravleniia dlia zadach proektirovaniia tekhnicheskikh sistem [Identification of internal operators of models of management for problems of design of technical systems]. *Sbornik nauchnykh trudov "XII Vserossiiskoe soveshchanie po problemam upravleniia. VSPU-2014"*. Moscow: Institut problem upravleniia imeni V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 3281-3288.

12. Streits V. Metod prostranstva sostoianii v teorii diskretnykh lineinykh sistem upravleniia [Method of space of states in the theory of discrete linear control systems]. Ed. Ia.Z. Tsyapkina. Moscow: Nauka, 1985. 296 p.

13. Pupkov K.A., Egupov N.D., Barkin A.I. Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniia. Tom 3. Metody sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniia [Methods of the classical and modern theory of automatic control. Vol. 3. Methods of the modern theory of automatic control]. Ed. N.D. Egupova. Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni N.E. Baumana, 2000. 748 p.

14. Nikul'chev E.V. Geometricheskii podkhod k modelirovaniu nelineinykh sistem po eksperimental'nym dannym [Geometrical approach to modeling of nonlinear systems on experimental data]. Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv, 2007. 162 p.

15. Rodina L.I. Otsenka statisticheskikh kharakteristik mnozhestva dostizhimosti upravliaemykh sistem [Assessment of statistical characteristics of a set of approachability of the operated systems]. *Izvestiia vuzov. Matematika*, 2013, no. 11, pp. 20-32.

16. Andreev V.V., Teslenko E.V. Avtomaticheskoe formirovanie massiva konstruktivno-tekhnologicheskikh priznakov detalei intellektual'noi informatsionnoi sistemoi [Automatic formation of the massif of constructive and technological signs of details intellectual information system]. *Vestnik Belgorodskogo tekhnologicheskogo universiteta imeni V.G. Shukhova*, 2010, no. 3, pp. 170-174.

17. Andreev V.V., Teslenko E.V. Informatsionnaia model' massiva parametrov detalei mashinostroeniia dlia sistemy tekhnologicheskogo i metrologicheskogo soprovozhdeniia protsessa proektirovaniia [Information model of the massif of parameters of details of mechanical engineering for the system of technological and metrological maintenance of a designing process]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, 2012, no. 3, pp. 40-44.

18. Andreev V.V., Teslenko E.V., Khranilov V.P. Dinamicheskaia model' upravleniia konstruktorsko-tekhnologicheskim vzaimodeistviem v SAPR [Dynamic model of management of design-technology interaction in a CAD]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, 2013, no. 3, pp. 64-67.

19. Andreev V.V., Teslenko E.V., Khranilov V.P. Analiz dinamicheskoi modeli upravleniia konstruktorsko-tekhnologicheskim vzaimodeistviem v SAPR [The analysis of dynamic model of management of design-technology interaction in a CAD]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni R.E. Alekseeva*, 2013, no. 5(102), pp. 177-182.

20. Baranov V.G., Vdovin L.M., Goriacheva T.I., Kolt'sov V.A., Milov V.R., Morugin S.L., Khranilov V.P., Shiriaev M.V. Metody proektirovaniia informatsionno-upravliaiushchikh i telekommunikatsionnykh sistem [Design methods of management information and telecommunication systems]. Ed. V.R. Milova, V.G. Baranova. Moscow: *Radiotekhnika*, 2016. 216 p.

Сведения об авторах

Панов Алексей Юрьевич (Нижний Новгород, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», директор Института промышленных технологий машиностроения Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (603950, Нижний Новгород, ГСП, ул. К. Минина, 28, e-mail: fam@nntu.ru).

Трофимова Майя Сергеевна (Нижний Новгород, Россия) – старший преподаватель кафедры «Машиностроительные технологические комплексы» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (603950, Нижний Новгород, ГСП, ул. К. Минина, 28, e-mail: maya47@yandex.ru).

About the authors

Panov Alexey Yurevich (Nizhny Novgorod, Russian Federation) is a Ph.D. of Engineering Sciences, professor, head of the Department "Theoretical and Applied Mechanics", the director of Institute of Industrial Engineering Technology of the Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev (603950, Nizhny Novgorod, GSP, St. of K. Minin, 28, e-mail: fam@nntu.ru).

Trofimova Maya Sergeyevna (Nizhny Novgorod, Russian Federation) is a Senior Lecturer to chair "Machine-building technological complexes" of the Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev (603950, Nizhny Novgorod, GSP, St. of K. Minin, 28, e-mail: maya47@yandex.ru).

Получено 09.10.2017