

В.А. Залога, д-р техн. наук, К.А. Дядюра, канд. техн. наук,
М.С. Хальзов, Сумы, Украина

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОЦЕССАМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ

На основі системного підходу й методу функціонального моделювання з обліком технічного, програмного забезпечення й оперативного персоналу, запропонована модель взаємодії процесів виготовлення машинобудівної продукції виробничо-технічного призначення, що дозволяє розглянути реалізації технологічних перетворень матеріальних, енергетичних і інформаційних ресурсів у характеристики виробу.

На основе системного подхода и метода функционального моделирования с учетом технического, программного обеспечения и оперативного персонала, предложена модель взаимодействия процессов изготовления машиностроительной продукции производственно-технического назначения, которая позволяет рассмотреть реализации технологических преобразований материальных, энергетических и информационных ресурсов в характеристики изделия.

On the basis of approach of the systems and method of functional design taking into account the technical, programmatic providing and operative personnel, the model of co-operations processes of making of machine-building products setting, which allows to consider realization of technological transformations of financial, power and informative resources in descriptions of good, communication is offered.

Введение. Основные тенденции развития современного машиностроения базируются на взаимодействии наукоемких технологий, финансовых ресурсов и интеллектуального капитала. Как правило, в рамках одной организации невозможно создать всю воспроизводящую то или иное изделие технологическую цепочку, которая максимально удовлетворяет требования заказчика по цене и качеству продукции. Следует отметить, что в настоящее время разработка и производство машиностроительной продукции производственно-технического назначения представляет собой сложное переплетение в т.ч. и национальных экономических структур. В условиях глобализации различных сфер деятельности конкурентоспособность отечественного машиностроительного комплекса на данном этапе рассматривается, прежде всего, как способность занять место в изменяющейся конфигурации международных производственных связей в

воспроизводящей транснациональной цепочке и удерживать его при всех ее модификациях.

Широкое внедрение современных электронных компонентов в машиностроительных изделиях производственно-технического назначения привело к созданию нового поколения технических систем, эффективность функционирования которых определяется в первую очередь информатизацией и компьютеризацией производства [1], использованием высококвалифицированных кадров, новых знаний, технологий и методов управления.

Постановка задачи. На этапе изготовления информация, содержащаяся в конструкторской и технологической документации (КД и ТД, соответственно) посредством технологических воздействий преобразуется в характеристики машиностроительного изделия. Практически все процессы машиностроительного производства формально подобны между собой. Это подобие основано на таких важных атрибутах систем как: организация, управление, технология, социально-психологические отношения, правовая регуляция, экологические требования и др. Производственные системы отличаются объемом и номенклатурой выпускаемой продукции, потребляемыми материальными, энергетическими и информационными ресурсами.

В технологии изготовления изделий машиностроения могут быть выделены следующие этапы: заготовительный (изготовление заготовок); обрабатывающий (термические операции, механическая и химико-термическая обработка, отделочные методы и др.); сборочный (процессы сборки, монтажа, наладки). Процесс изготовления изделия включает контроль его характеристик после каждого технологического воздействия и заканчивается промышленными испытаниями. В самом общем виде комплексный процесс изготовления собственно изделия можно укрупнено представить в следующем виде (рис. 1): изготовление материала, заготовки, детали, сборка узловая, сборка общая, контроль и испытание изделия.

Изготовление изделия осуществляется, как правило, сложными техническими системами (СТС). Задача выявления законов функционирования СТС сводится к построению отображения φ некоторого множества X (входы) в некоторое множество Y (выходы) на основе наблюдаемого соответствия между отдельными значениями входов и выходов. В составе СТС в общем случае могут быть выделены три

разнородных компонента [2]: комплекс технических средств (КТС), программное обеспечение (ПО) и оперативный персонал (ОП).

В разных функциональных подсистемах изготовления $\Phi ПС_{из}$ их может быть различное число. Функциональная подсистема изготовления $\Phi ПС_{из}$ представляет собой группы элементов $\Phi ПС_{изj}$, выделяемых из ее полного состава по признаку участия в выполнении некоторой функции.

Посредством упорядоченного взаимодействия комплекса средств ($\Phi П_{КТСj}$, $\Phi П_{ПОj}$, $\Phi П_{ОПj}$) и его отношений с материальными $S_N t_K$, энергетическими $E_N t_K$ и информационными $I_N t_K$ ресурсами реализуется процесс технологических преобразований информации $I_{\Phi ПС_{из}}$ и свойств материала заготовки в характеристики изделия $X_{\Phi ПС_{из}}$.



Рисунок 1 – Схема взаимодействия процессов изготовления машиностроительного изделия

Целью работы является разработка модели функциональной подсистемы изготовления машиностроительных изделий производственно-технического назначения, которая включают три основных компонента: комплекс технических средств, программное обеспечение и оперативный персонал.

Результаты исследований. Процесс формирования свойств изделия машиностроения при изготовлении можно представить в виде структурной схемы (рис. 2), включающей:

$X_{\Phi ПС_{из}}$ – множество характеристик функциональной подсистемы изготовления;

$X_{\Phi ПС_j}$ – множество характеристик функциональной подсистемы, выполняющей j-ую функцию.

X_M – множество значений характеристик материала; X_H – множество значений характеристик изделия;

$X_{ИМ}, X_{ИЗ}, X_{ИД}, X_{УЗ}, X_{ОЗ}$ – множество значений характеристик, соответствующих этапам изготовления изделия

$X_M^1, X_M^2, X_M^3, X_M^4$ – множество значений характеристик материала, являющихся исходными соответственно при изготовлении заготовки, детали, сборки узловой и сборки общей;

X_3^1, X_3^2, X_3^3 – множество значений характеристик заготовки, являющихся исходными соответственно при изготовлении детали, сборке узловой и сборке общей;

X_D^1, X_D^2 – множество значений характеристик детали, являющихся исходными соответственно при сборке узловой и сборке общей;

$X_{УЗ}^1$ – множество значений характеристик сборки узловой, являющихся исходными при сборке общей.

Функцию технологических преобразований характеристик материала X_M заготовки в характеристики изделия $X_{ФПС_{И}}$ можно представить в виде (1):

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 : X_M &\rightarrow X_{ФПС_{ИЗзаг}}; \\ \varphi_2 : X_{ФПС_{ИЗзаг}} &\rightarrow X_3; \\ \varphi_3 : X_3 &\rightarrow X_{ФПС_{ИЗдет}}; \\ \varphi_4 : X_{ФПС_{ИЗдет}} &\rightarrow X_D; \\ \varphi_5 : X_D &\rightarrow X_{ФПС_{ИЗсб}}; \\ \varphi_6 : X_{ФПС_{ИЗсб}} &\rightarrow X_{ФПС_{И}}. \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где φ_1 – отображение (преобразование) характеристик материала в требования к характеристикам функциональной подсистемы изготовления заготовки $X_{ФПС_{ИЗзаг}}$; φ_2 – отображение (преобразование) характеристик

$X_{ФПС_{ИЗзаг}}$ в характеристики заготовки X_3 ; φ_3 – отображение (преобразование)

характеристик X_3 в требования к характеристикам функциональных подсистем изготовления деталей $X_{ФПС_{ИЗдет}}$; φ_4 – отображение (преобразование)

характеристик $X_{ФПС_{ИЗдет}}$ в характеристики деталей X_D ; $X_{ФПС_{ИЗ}}$; φ_5 –

отображение (преобразование) X_∂ в требования к характеристикам функциональных подсистем сборки $X_{\Phi PC_{\Pi CB}}$; φ_6 - отображение (преобразование) $X_{\Phi PC_{\Pi CB}}$ в характеристики конечной продукции производственно-технического назначения $X_{\Phi PC_{\Pi}}$.

Здесь

$$X_M = \begin{Bmatrix} X_{M_1} \\ X_{M_2} \\ \dots \\ X_{M_R} \end{Bmatrix}, \quad X_{\Phi PC_{\Pi}} = \begin{Bmatrix} X_{\Phi PC_{\Pi 1}} \\ X_{\Phi PC_{\Pi 2}} \\ \dots \\ X_{\Phi PC_{\Pi N}} \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

где X_{M_i} - i -й элемент множества X_M ; X_{Π_j} - j -й элемент множества X_{Π} ; R - общее число характеристик материала заготовки X_M ; N - общее число характеристик готового изделия $X_{\Phi PC_{\Pi}}$.

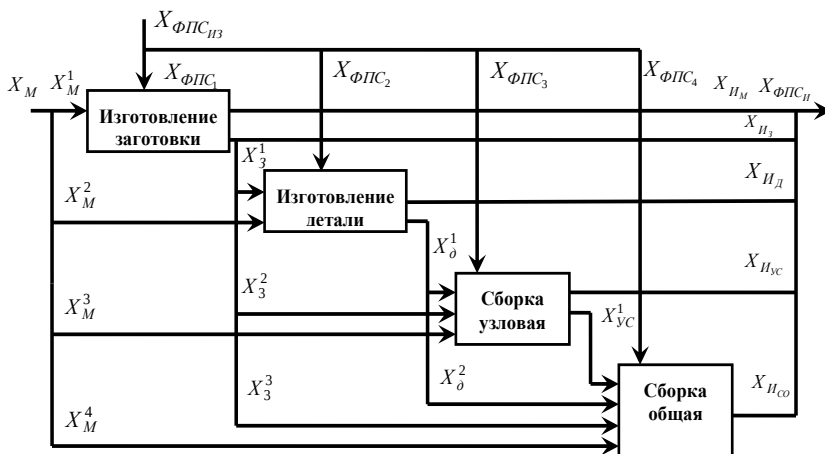


Рисунок 2 – Структурная схема формирования свойств изделия машиностроения при изготовлении

Функционирующие в производственной системе ресурсы, технологии и условия организации, определяют потенциальные возможности и состояние процессов формирования свойств изделия при изготовлении (рис. 3).

Показателями эффективности соответствующей функциональной подсистемы изготовления являются: объем выпуска; время, затрачиваемое на обеспечение требуемого качества изделия, стоимость используемых ресурсов. Этих показатели определяются условиями изготовления и технологическими

режимами на каждой операции и зависят от надежности как отдельных функциональных подсистем, так и их звеньев (рис. 3). Функционирующие в производственной системе ресурсы, технологии и условия организации, определяют потенциальные возможности и состояние процессов формирования свойств изделия при изготовлении (рис. 3).

На основании функционального подхода процесс изготовления можно представить схемой, показанной на рис. 4. Функциональная подсистема изготовления $\Phi ПС_{ИЗ_j}$ реализует j -ю технологическую операцию или определенную их совокупность, которые обеспечивают j -ю функцию изделия.

Множество внутренних параметров j -ой операции может быть представлено в виде

$$X_{оп_j} = \left\{ X_{оп_{j(ц)}}, X_{оп_{j(об)}}, X_{оп_{j(рес)}}, X_{оп_{j(кв)}}, X_{оп_{j(лв)}}, X_{оп_{j(лт)}}, X_{оп_{j(шт)}}, X_{оп_{j(м)}} \right\}, \quad (3)$$

где $X_{оп_{j(ц)}}$, $X_{оп_{j(об)}}$, $X_{оп_{j(рес)}}$, $X_{оп_{j(кв)}}$, $X_{оп_{j(лв)}}$, $X_{оп_{j(лт)}}$, $X_{оп_{j(шт)}}$, $X_{оп_{j(м)}}$, $X_{оп_{j(об)}}$, $X_{оп_{j(м)}}$ - внутренние параметры j -ой операции, которые соответственно обозначают: место выполнения работ (цех, участок, рабочее место и т.д.); тип оборудования; технологические режимы; количество исполнителей; профессия и квалификация исполнителя; условия труда; норма штучного времени; норма подготовительно-заключительного времени; количество одновременно обрабатываемых изделий; материалы.

В общем виде модель формирования характеристик изделия $X_{\Phi ПС_{И}}$ может быть записана в виде:

$$X_{\Phi ПС_{И}} = F X_{ТП} = F X_{оп}^m = F X_{\Phi ПС_{ИЗ}}^N, \quad (4)$$

где m – количество операций в технологическом процессе; N – количество функциональных подсистем участвующих в технологическом процессе.

На рис. 5 показана укрупненная схема функциональной подсистемы изготовления детали $\Phi ПСИЗ$. Она состоит из отдельных функциональных подсистем, которые в свою очередь включают станки, приспособления, инструменты, производственный и обслуживающий персонал, программное обеспечение, которое позволяет задавать технологические режимы и осуществлять контроль за текущим состоянием технических средств.

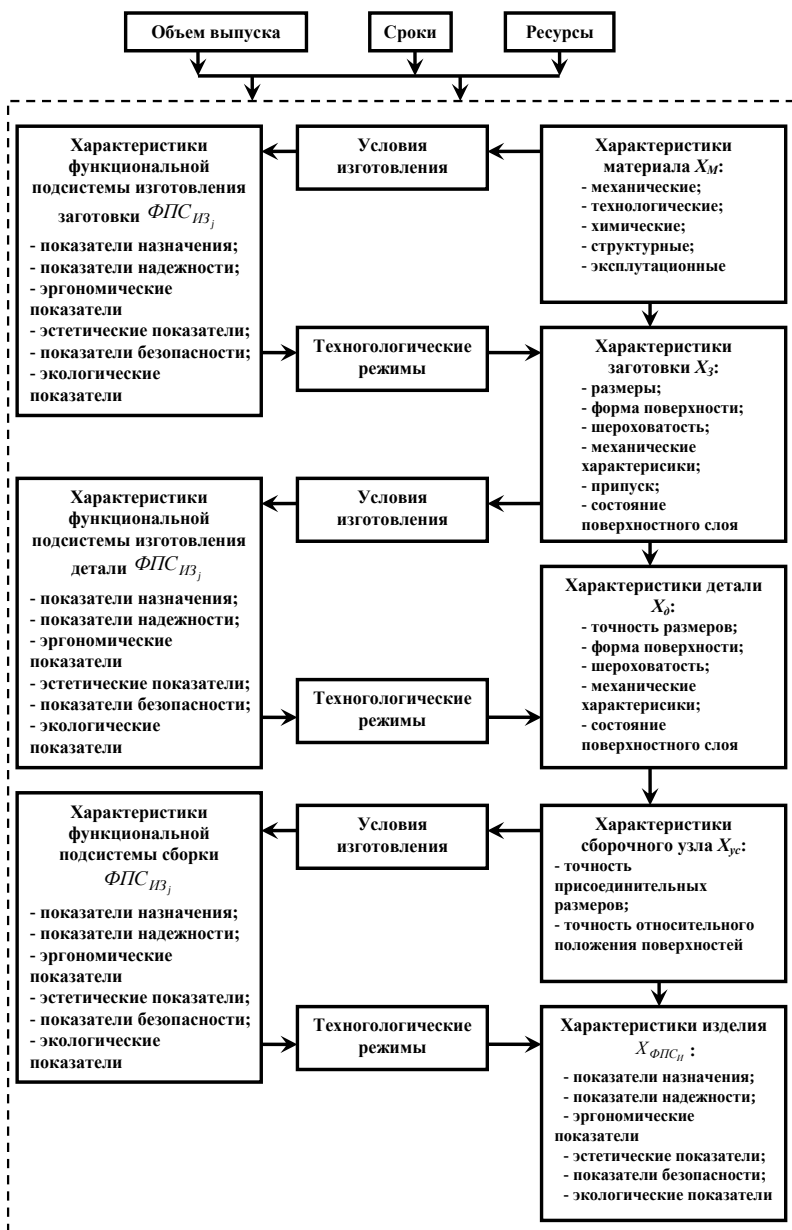


Рисунок 3 – Схема формирования характеристик изделия $X_{ФПС_И}$

Современные процессы изготовления, как правило, автоматизированы и представляют собой взаимодействие большого количества разнородных элементов: технических, программных средств и оперативного персонала.

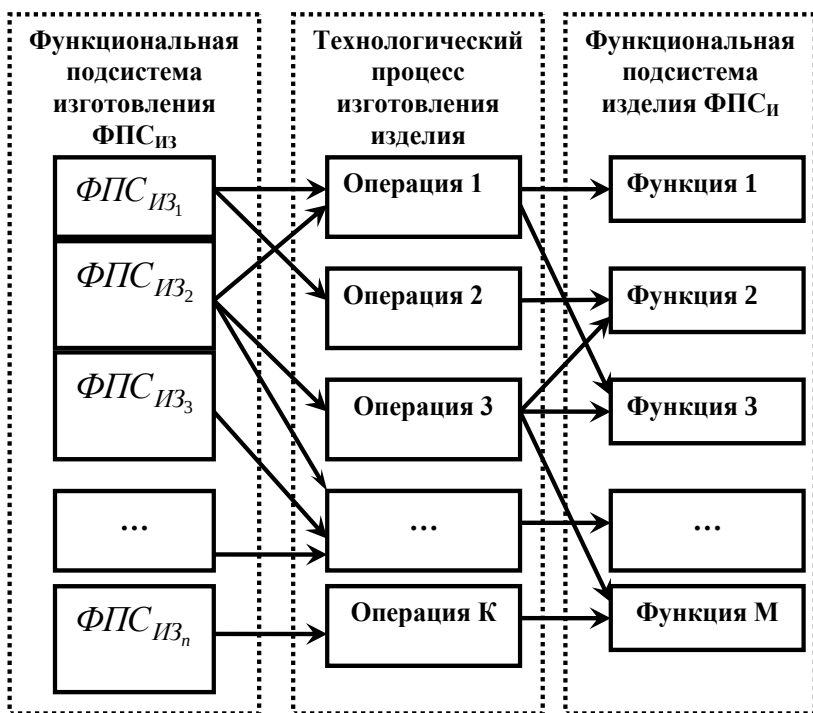


Рисунок 4 – Функциональная схема технологического процесса изготовления машиностроительного изделия

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП) – это комплекс функциональных подсистем, который обеспечивает:

- получение информации о состоянии технологического объекта управления, оценку информации, выбор управляющих воздействий и их реализацию;
- получение информации, обработку и передачу информации персоналу АСУТП или во вне системы о состоянии технологического объекта управления или внешней среды;
- сбор и обработку данных о состоянии АСУТП, представление этой информации персоналу или осуществление управляющих воздействий на соответствующие технические и/или программные средства АСУТП.

Для любой системы управления технологическим процессом в общем случае известны: закон управления, входные сигналы, параметры, а также выходные сигналы, характеризующие состояние объекта управления (ОУ).

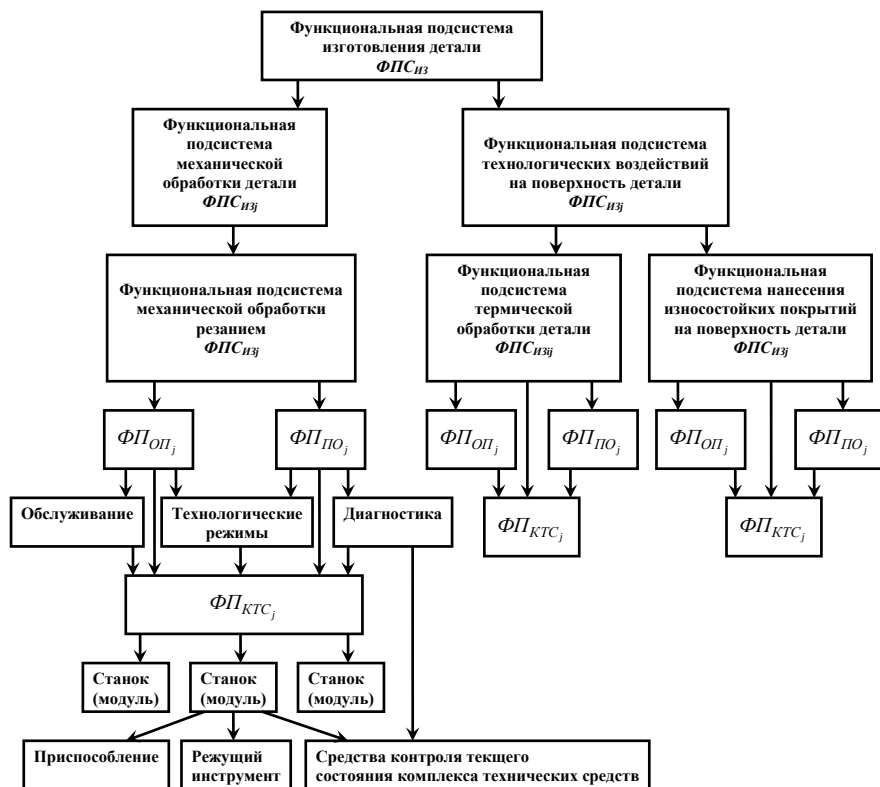


Рисунок 5 – Структурная схема функциональной подсистемы изготовления детали $\Phi ПС_{из}$

Технологический объект управления (ТОУ) включает технологическое оборудование и реализуемый в нем технологический процесс. Понятие ТОУ используется в широком смысле. В качестве ТОУ рассматриваются отдельные станки и агрегаты, участки и цеха.

Анализируя входные и выходные сигналы, система управления (СУ) вырабатывает управляющие сигналы согласно принятому закону управления. Взаимодействие СУ и ОУ можно представить в виде структурной схемы (рис. 6.), включающей:

$x(t) = x_1(t), \dots, x_n(t)$ – входные переменные, к которым относятся характеристики материала, заготовки, детали, используемые данным технологическим объектом управления;

$y(t) = y_1(t), \dots, y_n(t)$ – выходные переменные, которые описывают состояние ТОУ;

$z(t) = z_1(t), \dots, z_n(t)$ – параметры, характеризующие условия протекания технологического процесса, в том числе возмущающие воздействия;

$u(t) = u_1(t), \dots, u_n(t)$ – управляющие воздействия, вырабатываемых СУ на основании закона управления для достижения цели управления;

$o(t) = o_1(t), \dots, o_n(t)$ – управляющие команды оператора.

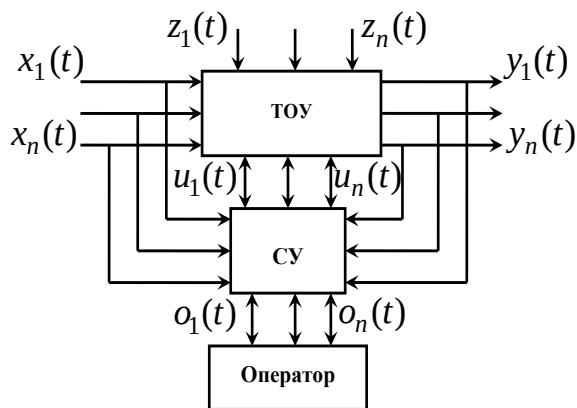


Рисунок 6 – Структурная схема взаимодействия СУ и ОУ

Выходные параметры ТОУ (характеристики детали, сборочной единицы, изделия) $y(t)$ зависят от параметров на входе $x(t)$ (характеристики материала, заготовки) и условий характеризующих технологический процесс $z(t)$.

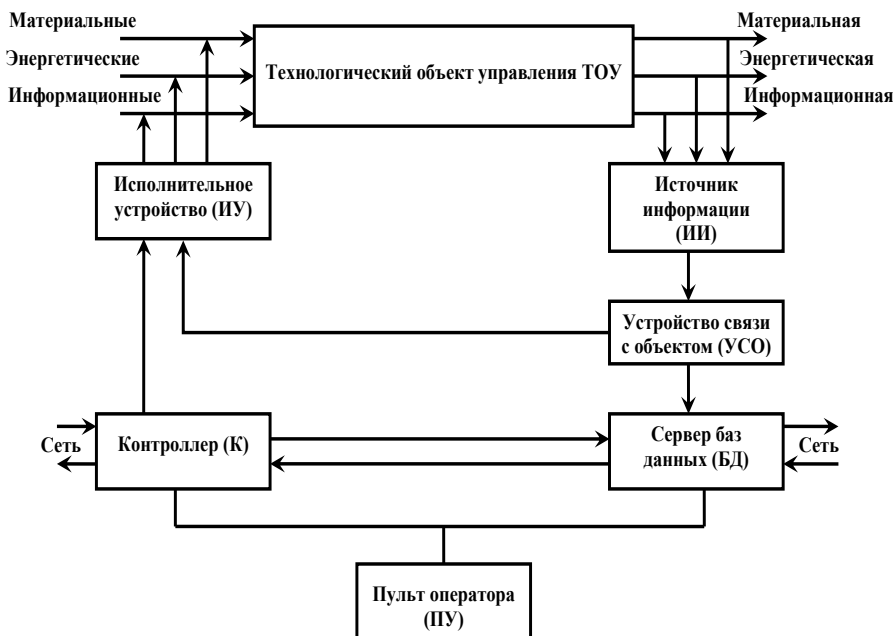
Процесс управления включает следующие стадии: получение информации о состоянии ТОУ путем измерения выходной переменной; сравнение полученного результата с заданными требованиями; принятие решения об изменении состояния ТОУ и выработка управляющего воздействия $u(t)$.

Средства автоматизации большинства технологических процессов включают программно-технические комплексы (ПТК), представляющие собой совокупность микропроцессорных средств автоматизации, дисплейных пультов оператора, серверов различного назначения, промышленных сетей, а также программного обеспечения контроллеров (рис. 7.).

Входы могут рассматриваться как ресурсы (сырье, материалы, информация), которые поступают в систему, так же, как и продукты других подсистем.

- средства получения информации о состоянии объекта управления и средствах ввода данных в систему (входные преобразователи, датчики);
- средства формирования и передачи информации в системе;
- средства локального регулирования и управления;
- средства вычислительной техники;
- средства представления информации оперативному персоналу;
- исполнительные устройства;
- средства передачи информации в смежных и АСУ других уровней;
- приборы и устройства для наладки и проверки работоспособности

Ресурсы:



Оперативный персонал включает технологов-операторов автоматизированного технологического комплекса, осуществляющих управление технологическим объектом, и эксплуатационный персонал, обеспечивающий функционирование системы. Оперативный персонал может работать как в контуре управления так и вне. В первом случае оперативный персонал реализует функции управления, используя рекомендации, выдаваемые КТС. Вне контура управления оперативный персонал задает системе режим работы, контролирует работу системы и при необходимости принимает на себя управление технологическим объектом.

В состав программного обеспечения входят общее, поставляемое со средствами вычислительной техники, в том числе, организующие программы, программы диспетчеры, транслирующие программы, операционные системы, библиотеки стандартных программ, а также специальное, которое реализует функции конкретной системы, обеспечивает функционирование КТС, в том числе аппаратным путем.

Реальный технологический процесс характеризуется наличием ряда неопределенностей: неточное описание математической модели, неконтролируемое изменение статических и динамических свойств, воздействие на систему внешних возмущений и т.д. Существенным может быть также отличие фактических параметров от расчетных.

Введение дополнительных управляющих функций позволяет с помощью специальных датчиков получать информацию о состоянии заготовки (обрабатываемой детали), инструмента, оборудования и непрерывно использовать ее для адаптивного управления технологическим процессом. Это повышает производительность процесса, точность и качество поверхностей изготавливаемых деталей, приводит к снижению стоимости и позволяет управлять ТОУ. Оценка технического состояния промышленного оборудования в настоящее время проводится путем сравнения текущих значений контролируемых (диагностических) параметров с их нормативными значениями.

С точки зрения математики функционирующий объект диагностирования можно рассматривать как некий преобразователь G параметров его технического состояния в диагностические признаки [3]:

$$\{U\} = G \{R\}, \quad (5)$$

где $\{U\} = \{u_1^{(i)}, u_2^{(i)}, \dots, u_n^{(i)}\}$ - вектор диагностических признаков технического состояния объекта в n -мерном признаковом пространстве; $\{R\} = \{r_1^{(i)}, r_2^{(i)}, \dots, r_m^{(i)}\}$ - вектор структурных параметров, описывающих техническое состояние в m -мерном пространстве.

Задачей же диагностики является получение зависимости, обратной зависимости (1), т.е.

$$\{R\} = G^{-1}\{U\}, \quad (6)$$

где G^{-1} - оператор, обратный оператору G в выражении (5).

Традиционно, выражение (6) получается в процессе проведения, так называемых, «обучающих» экспериментов. В простейшем случае, к которому, как правило, стремятся, зависимость (6) может быть функциональной:

$$r_i = F_i(u_1, u_2, \dots, u_n), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (7)$$

Причем наибольшие упрощения достигаются в том случае, когда каждому параметру состояния r_i удастся поставить в соответствие только один характерный диагностический признак u_j :

$$r_i = F_i(u_j) \quad (8)$$

Выводы. С целью совершенствования проектов машиностроительной продукции производственно-технического назначения, на основе системного подхода и метода функционального моделирования разработана модель функциональной подсистемы изготовления, представляющая взаимодействие групп элементов (комплекса технических средств, программного обеспечения и оперативного персонала), выделяемых из ее полного состава по признаку участия в выполнении некоторой функции, которая позволяет рассмотреть процесс реализации технологических преобразований материальных, энергетических и информационных ресурсов в характеристики изделия.

Список использованных источников: 1. Sukaylo VA, Krukovsky PG, Kaldos A, F Lierath, J Kundrak and T Emmer: Computer-based modelling of thermal distortions in turning // PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART B-JOURNAL OF ENGINEERING MANUFACTURE 217 (3): 363-371 2003 2. ДСТУ 3524-97 Надійність техніки. Проектна оцінка надійності складних систем з урахуванням технічного і програмного забезпечення та оперативного персоналу. Основні положення. 3. Генкин М. Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов.— М.: Машиностроение, 1987.— 288 с.

Поступила в редколлегию 15.03.2010