

Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов

РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:
Бучаченко А.Л.
Гусев А.А.
Дегтярев Ю.И.
Елисеев В.А.
Иванов А.П.
Мальцева С.В.
Нефедов Е.И.
Шебалин И.Ю.
(заместитель главного редактора)

4
—
2012

УЧРЕДИТЕЛИ:
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ
ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

Журнал зарегистрирован 9 апреля
1999 г. за № 018684 в Комитете
Российской Федерации по печати

Журнал входит в перечень
утверждённых ВАК РФ изданий
для публикации трудов соискателей
учёных степеней

ООО «Издательство Машиностроение»

РЕДАКЦИЯ:

Шебалин И.Ю. — зам. главного редактора
Гончарова Л.К. — научный редактор
Осипова В.Г. — научный редактор
Богус С.В. — секретарь

Адрес редакции:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 748 0290,
E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 268 3858,
факс: (499) 269 4897

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Поляков С.И. Прогнозирование процесса дозирования сыпучего материала	3
Носов О.А., Васечкин М.А., Рыжкова Е.А., Стоянова Н.В. Выбор режимов функционирования технических систем ...	6
Асадов Х.Г., Абдуллаев Н.А. Обобщённый метод окружностей для акустической локации. Применение для тропосферной акустической локации	12

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Звонов А.О., Янишевская А.Г. Математическая модель информационно-измерительного комплекса на промышленном предприятии	16
Замятин К.И., Кузнецов А.П. Автоматизированная система поддержки принятия решений при синтезе структур-стратегий производственных систем машиностроения (СППР «Синтез ПС»)	20
Малышев Е.Н., Бысов С.А. Создание автоматизированных технологических систем на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов	26
Дворецкий С.И., Муратова Е.И., Толстых С.Г. Автоматизированная информационная система для расчёта и оптимизации рецептур многокомпонентных пищевых систем	33

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Никифоров С.О., Никифорова О.С., Никифоров Б.С. Машины дизайн-технологии технического и художественного моделирования при прототипировании и производстве изделий	41
--	----

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Polyakov S.I. Prediction of the loose material batching process	3
Nosov O.A., Vasechkin M.A., Ryzhkova E.A., Stoyanova N.V. Choice of technical systems functioning conditions	6
Asadov Kh.G., Abdullayev N.A. The circles generalized method for acoustic location. Application for troposphere acoustic location	12

MODERN TECHNOLOGIES

Zvonov A.O., Yanishevskaya A.G. Mathematical model of the information-measuring complex for industry enterprise	16
Zamyatnin K.I., Kuznetsov A.P. The decision-making support automatic system for structures-strategy synthesis of machine-building production systems (SPPR «Synthesis PS»)	20
Malyshев Е.Н., Bysov S.A. Automatic technological system creature based on the concentration of the machining and assembly processes	26
Dvoretskiy S.I., Muratova E.I., Tolstykh S.G. The automatic information system for formulation calculation and optimization of the multicomponent food systems	33

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

Nikiforov S.O., Nikiforova O.S., Nikiforov B.S. Machine design-technologies of the technical and artistic modeling at products prototyping and production	41
--	----

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Роспечать» — 70537, по каталогу «Пресса России» — 27838, по «Каталогу российской прессы «Почта России» — 60267) или непосредственно в издательстве по факсу (499) 269 4897, по e-mail realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок (499) 269 6600, 269 5298

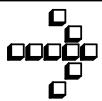
Художественный редактор Галицина Т.Н.
Компьютерный набор Путинов В.Н.
Компьютерная верстка Тугаринов А.А., Веремеев С.В.

Набрано в ФГБНУ «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы»
Москва, ул. Антонова-Овseenко, 13. Тел.: (499) 795 1789

Сдано в набор 30.01.12. Подписано в печать 27.03.12.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,9. Заказ 137. Цена свободная

Отпечатано в ООО «Подольская Периодика»
142110, Московская обл., г. Подольск,
ул. Кирова, 15

**Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна
при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка
на журнал «Автоматизация и современные технологии» обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель**



УДК 666.97.03.028-52:681.3

С.И. Поляков, канд. техн. наук, доц. (Воронежская государственная лесотехническая академия)

poliakov1960@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

Описан способ весового автоматического дозирования с помощью статистического прогнозирования и упреждения погрешности. Рассмотрен процесс дозирования как случайный нестационарный процесс со стационарными приращениями. Для практики проведен выбор модели смешанного процесса авторегрессии – проинтегрированного скользящего среднего первого порядка.

Ключевые слова: погрешность дозирования, статистическое прогнозирование, упреждение.

The automatic weight batching method by means of statistical prediction and error forestalling is described. Batching process is considered as casual non-stationary process with stationary increments. The choice of the autoregression mixed process mode – the first order of the integrated sliding average – is carried out for practice.

Key words: batching error, statistical prediction, forestalling.

Проблема прогнозирования весового дозирования всегда представляла актуальную научную и практическую задачу. Ниже приводится методика расчёта прогноза временного ряда. Рассматривается дискретное дозирование сыпучего материала на одном и том же весовом оборудовании с динамической погрешностью δ . При этом наблюдаемые погрешности дозирования образуют ряд дискретных величин в равноотстоящие моменты времени, являющиеся циклами дозирования. При прогнозировании погрешности δ_t в текущий момент времени (цикл дозирования) t и погрешности $\delta_{t-1}, \delta_{t-2}, \dots, \delta_{t-n}$ в предыдущие циклы можно использовать погрешности с упреждением $l=2, 3, \dots, n$ циклов. Таким образом, математическое ожидание в момент времени t может быть достаточно точно вычислено по нескольким недавним значениям временного ряда. Это утверждение особенно важно при практическом прогнозировании [1].

Автоматическое дозирование, при котором подача материала в бункер осуществляется непрерывно до тех пор, пока измеренная масса материала в бункере m_u не достигнет значения, удовлетворяющего условию, запишется в виде

$$m_u = m_3 + \delta,$$

где m_3 – заданная масса дозы; δ – динамическая прогнозируемая погрешность дозирования, равная разности между массой, измеренной в момент t (показанием измерительной системы), и массой материала, который окажется в бункере дозатора, если в момент t появится сигнал – команда на прекращение подачи материала.

Анализ составляющих динамической погрешности дозирования позволяет свести задачу повышения точности дозирования к задаче статистического прогнозирования и упреждения этой погрешности. Последовательность динамических погрешностей, возникающих при дискретном дозировании одного и того же материала одним и тем же дозатором, образует дискретный ряд значений, который можно рассматривать как дискретный временной ряд, для которого интервалы времени между значениями ряда выражаются в циклах дозирования. Экспериментальные исследования процессов дозирования сыпучих компонентов смесей, в том числе изложенные в публикациях, позволяют считать указанный временной ряд случайным нестационарным процессом со стационарными приращениями, у которого d -я разность является стационарным процессом.

Обобщённая модель процесса может быть записана в виде [2]

$$\Phi(B)\omega_n = \theta(B)a_n, \\ \omega_n = \nabla^d \delta_n, n=0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

где ∇ – разностный оператор со сдвигом назад; $\nabla \delta_n = \delta_n - \delta_{n-1}$; B – оператор сдвига назад; $B\delta_n = \delta_{n-1}$; a_n – последовательность независимых одинаково распределённых случайных величин с конечной дисперсией (белый шум).

В свою очередь, стационарный оператор авторегрессии имеет вид многочлена

$$\Phi(B) = 1 - \Phi_1 B - \Phi_2 B^2 - \dots - \Phi_p B^p, \quad (1)$$

где p – порядок авторегрессии, а оператор скользящего среднего

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q. \quad (2)$$

При этом прогнозирующая функция $\hat{\delta}(l)$, где $l = 1, 2, \dots$, может быть записана как бесконечная взвешенная сумма предыдущих наблюдений плюс случайный импульс:

$$\hat{\delta}(l) = \delta_{n+1} = \sum_{j=1}^{\infty} \pi_j \delta_{n+l-j} + a_{n+l}.$$

Отсюда прогнозируемое значение погрешности $\hat{\delta}$ текущего дозирования ($l=1$) определяется выражением

$$\begin{aligned} \hat{\delta}(1) &= \delta_{n+1} = \sum_{j=1}^{\infty} \pi_j \delta_{n+1-j} + a_{n+1} = \\ &= \pi_1 \delta_n + \pi_2 \delta_{n-1} + \dots + a_{n+1}. \end{aligned}$$

При этом весовые коэффициенты π можно получить из равенства

$$\varphi(B) = (1 - \pi_1 B - \pi_2 B^2 - \dots) \theta(B), \quad (3)$$

где $\varphi(B)$ – обобщённый оператор авторегрессии, определяемый выражением

$$\varphi(B) = \Phi(B)(1 - B)^d. \quad (4)$$

С учётом выражений (1), (2) и (4) выражение (3) можно записать в виде

$$\begin{aligned} (1 - \Phi_1 B - \Phi_2 B^2 - \dots)(1 - B)^d &= \\ &= (1 - \pi_1 B - \pi_2 B^2 - \dots)(1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots). \end{aligned}$$

Значения π_j находятся приравниванием коэффициентов при B в левой и правой частях.

Хотя теоретически динамические погрешности δ_n зависят от отдалённого прошлого ($j=\infty$), на практике δ_{n+1} достаточно точно может быть вычислено по нескольким недавним (предыдущим) значениям временного ряда.

Для процесса авторегрессии 1-го порядка (скользящего среднего 1-го порядка ($j=1$)) значения π зависят от θ_1 и Φ_1 , которые определяются решением уравнений

$$\rho_1 = \frac{(1 - \theta_1 \Phi_1)(\Phi_1 - \theta_1)}{1 + \theta_1^2 - 2\Phi_1 \theta_1},$$

$$\rho_2 = \Phi_1 \rho_1,$$

где ρ_1, ρ_2 – коэффициенты автокорреляции.

На практике вместо значений ρ_1 и ρ_2 следует подставить их оценки r_1 и r_2 .

Значения p, d и q в общей модели и начальные значения параметров Φ_1 и θ_1 должны определяться в процессе идентификации моделей, который, в свою очередь, должен осуществляться для каждого дозатора.

Пусть временной ряд задан некоторой последовательностью 70 дискретных значений. Построим для этого ряда модель прогноза (рис. 1).

Автокорреляцию ρ_k определим по оценке r_k :

$$r_k = \frac{C_k}{C_0},$$

где k – задержка в циклах дозирования; $k = 0, 1, 2, \dots$

Оценка автоковариации γ_k

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-k} (m_i - \mu)(m_{i+k} - \mu).$$

Среднее значение дискретного ряда

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-k} (m_i).$$

Автокорреляция при значениях $k = 1, 2, 3, \dots$ равна соответственно

$$r_k = -0,39, k = 1;$$

$$r_k = 0,304, k = 2;$$

$$r_k = -0,166, k = 3.$$

Выберем для дальнейшего практического применения линейную нестационарную модель смешанного процесса авторегрессии первого порядка – проинтегрированного скользящего среднего первого порядка АРПСС (1, 1, 1). Две первые автокорреляции через параметры процесса имеют вид

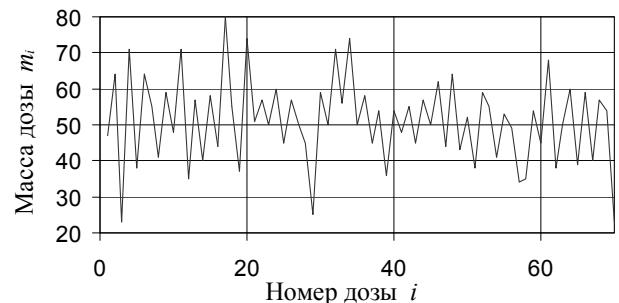


Рис. 1. Временной ряд m_i

$$r_1 = \frac{(1-\theta_1\Phi_1)(\Phi_1-\theta_1)}{1+\theta_1^2-2\Phi_1\theta_1};$$

$$r_2 = \Phi_1\theta_1.$$

Используя оценки r_1 и r_2 вместо ρ_1 и ρ_2 , совместным решением двух последних уравнений можно получить исходные выборочные оценки параметров Φ_1 и θ_1 :

$$\Phi_1 = -0,779;$$

$$\theta_1 = -0,4782.$$

Подобный подход позволил получить весовые коэффициенты

$$\pi_1 = \Phi + (1 - \theta);$$

$$\pi_2 = (\theta - \Phi)(1 - \theta);$$

$$\pi_j = (\theta - \Phi)(1 - \theta)\theta^{j-2}.$$

Первые десять весов π приведены на диаграмме (рис. 2).

Свойство сходимости ряда, когда веса π_j в сумме равны единице, подтвердилось, т. е. для данных коэффициентов

$$\sum_{j=1}^{10} \pi_j = 1.$$

Итак, значение временного ряда может быть найдено как взвешенное среднее предшествующих значений плюс дополнительный импульс по формуле

$$\begin{aligned} m_{1i} = & \pi_1 m_{i-1} + \pi_2 m_{i-2} + \pi_3 m_{i-3} + \pi_4 m_{i-4} + \\ & + \pi_5 m_{i-5} + \pi_6 m_{i-6} + \pi_7 m_{i-7} + \pi_8 m_{i-8} + \\ & + \pi_9 m_{i-9} + \pi_{10} m_{i-10}. \end{aligned}$$

Два временных ряда, один из которых генерирован процессом АРПСС (1, 1, 1), представлены на диаграмме (рис. 3). Пунктирный график представляет линейную нестационарную модель процесса дозирования, заданного временным рядом. В линейной нестационарной стохастической модели дискретный ряд дозирования генерируется совокупностью случайных импульсов, начиная от нажатия кнопки на включение дозирования и до срабатывания исполнительного механизма и высыпания материала.

Процессы авторегрессии, скользящего среднего первого, второго порядка и смешанный процесс авторегрессии – скользящего среднего позволяют создать процедуру автоматизированного расчёта упреждения динамической погрешно-

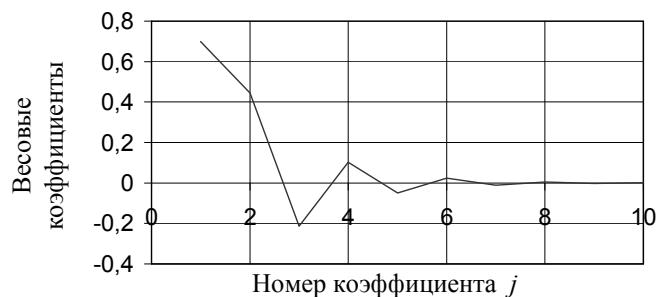


Рис. 2. Диаграмма весовых коэффициентов π_j

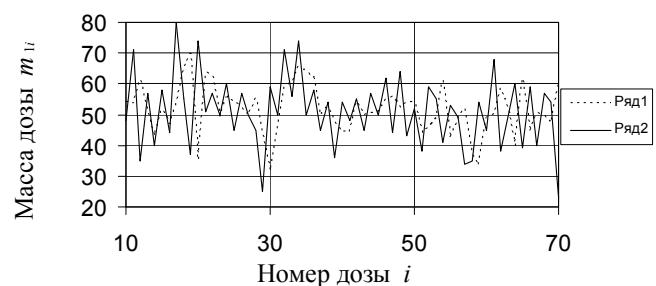


Рис. 3. Временные ряды:
генерированный m_{1i} (ряд 1) и исходный m_i (ряд 2)

сти на основе её статистического прогнозирования и адаптации к процессам истечения материалов.

Таким образом, рассмотренный способ автоматического дозирования использует условие минимизации отклонений динамической погрешности, которая представлена как последовательность значений дискретного временного ряда нестационарного случайного процесса. Применение этого способа прогнозирования динамической погрешности создаёт условие для экспресс-анализа случайной составляющей погрешности и соответствующей корректировки задания по результатам предыдущих циклов дозирования. Причём анализ погрешности должен выполняться на этапе комплексного опробования технологического оборудования и настройки АСУ ТП на дозирование соответствующих компонентов. Выявляемая погрешность систематически должна уточняться в процессе эксплуатации дозирующего оборудования.

Библиографические ссылки

- Поляков С.И. Статистическое прогнозирование и упреждение динамической погрешности дозирования // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2005. Спецвыпуск. С. 77–78.
- Бокс Д., Дженкинс Г. Анализ временных рядов: прогноз и управление. М.: Мир, 1974. Вып. 1. 406 с.

УДК 681.5

О.А. Носов, д-р техн. наук, проф., **М.А. Васечкин**, канд. техн. наук, доц.,
Е.А. Рыжкова (Воронежская государственная технологическая академия),
Н.В. Стоянова (Московский государственный университет путей сообщения МИИТ,
Воронежский филиал)

vmax77@mail.ru

ВЫБОР РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Приведён анализ организации технических систем, позволяющий выявить характер качественного взаимодействия параметров системы, определяющий главную задачу проектирования высокоеффективной техники. Представленный подход использовался на примере проектирования устройства для удержания объекта на дискретно запитываемой газовой прослойке.

Ключевые слова: проектирование технических систем, устройства для бесконтактного удержания, несущая газовая прослойка, дискретная подача газа.

The analysis of the technical systems organization is adduced, allowing to reveal character of the system parameters qualitative interaction, defining the main task of the highly effective equipment designing. The presented approach was used as an example of the facility designing for object retention on the discretely written down gas interlaying.

Key words: technical systems designing, contactless retention facilities, bearing gas interlaying, gas discrete supply.

Любая организованная структура независимо от её природы определяется сочетанием качественных показателей ($X_1, X_2, \dots, X_{n-1}, X_n$) и характером связей между ними (рис. 1). При этом каждый из них имеет некоторую численную характеристику x , меняющуюся в определённых пределах (от $x_{-\alpha}$ до $x_{+\alpha}$) (рис. 2).

Величина звёздного плеча α из теории эксперимента определяется зависимостью $\alpha \approx \sqrt{n}$. Интервал между точками x_{-1} и x_{+1} соответствует проявлению качества, присущего исключительно параметру X_i , а вне данного интервала (в погра-

нических областях) в определённой степени проявляются уже качества X'_i и X''_i .

Одним из важнейших свойств организованных структур в течение всего срока функционирования является постоянное взаимодействие конструктивного и деструктивного начал. При этом её эффективность определяется некоторой величиной $\sum_{i=1}^n \eta_i$, являющейся суммой соответствующих характеристик каждого качественного показателя X_i (рис. 3).

В дальнейшем будем рассматривать лишь искусственно организованные структуры — технические системы. Обширный анализ многочисленных конструкций позволяет сказать, что характер качественного взаимодействия начал в последних практически всегда соответствует представленному, а, следовательно, главной задачей проектирования высокоеффективной техники является правильный выбор режимов функционирования. Очевидно, что при таком выборе численные характеристики качественных показателей следует искать как раз в пограничных областях.

Представленный подход к проектированию технических систем используется авторами довольно давно. Рассмотрим его применение на примере проектирования прецизионного устройства для бесконтактного удержания объектов на дискретно запитываемой газовой прослойке (рис. 4). Такие устройства обладают целым рядом преимуществ: высокой степенью виброразвязки за счёт демпфирующих свойств газа, мягким щадящим воздейст-

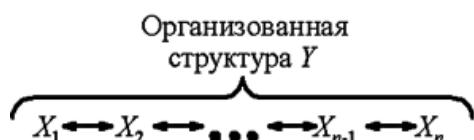


Рис. 1. Строение организованной структуры

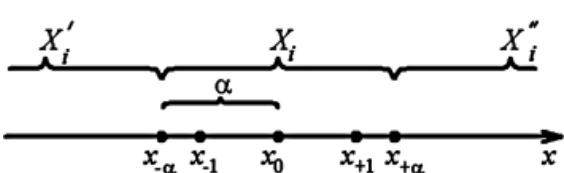


Рис. 2. Шкала численных характеристик качественных показателей

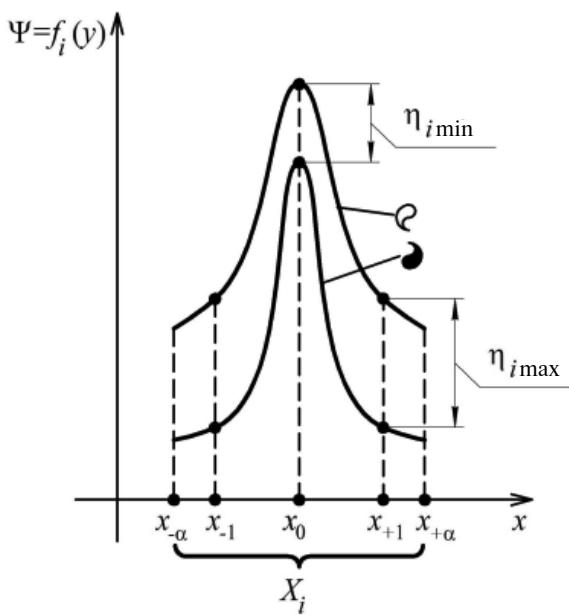


Рис. 3. Характер качественного взаимодействия в технической системе

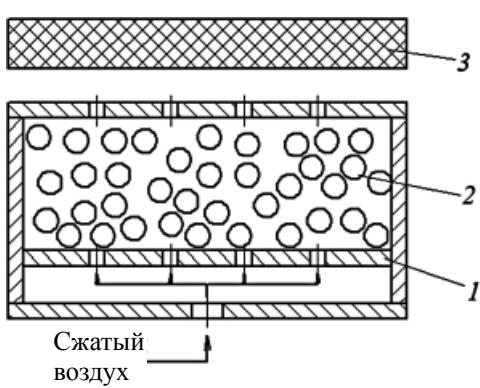


Рис. 4. Устройство для бесконтактного удержания объекта на дискретно запитываемой воздушной прослойке:

1 – пневмокамера; 2 – свободно витающие сферы; 3 – объект

вием на объект, отсутствием движущихся механических частей и т. д. Прослойка создаёт предпосылки использования пневматических измерительных устройств, которые отличаются низкой стоимостью по сравнению с электрическими [1, 2]. Данная техническая система определяется рядом качественных показателей (текущий радиус, масса объекта, толщина газовой прослойки, плотность и вязкость газа, температура среды и т. д.). Её эффективность определяется взаимодействием двух начал: удерживающей способностью прослойки и эффектом пневмозахвата, обусловленных свойствами сплошной среды, свободно истекающей через щелевой зазор. Пневмозахват –

появление зон пониженного (порой до отрицательных значений) давления – в значительной степени снижает эффективность функционирования системы (потеря до 35 % энергии).

При дискретном запитывании газовой прослойки (рис. 4) изменение режима подачи воздуха связано с наличием в окрестностях выпускного сопла зоны чувствительности. Попадающие в неё свободно витающие сферы приводят к уменьшению площади проходного сечения сопла и увеличению местного гидравлического сопротивления, что снижает расход воздуха в прослойку.

Предположим, что при работе представленного устройства изменение во времени площади проходного сечения имеет гармонический характер. Таким образом, для упрощения модели рассмотрим дискретный режим запитывания воздушной прослойки, обеспеченный за счёт циклического изменения площади проходного сечения при помощи сферической заслонки (рис. 5).

Поле избыточного давления газа в несущей прослойке будет складываться из двух компонент:

$$p = p_{ct} + p_b, \quad (1)$$

где p_{ct} – избыточное давление, обусловленное истечением газа при стационарном режиме, Па; p_b – волновая составляющая избыточного давления при импульсной подаче газа, Па.

Выражение (1) будет справедливо в случае, если минимальная циклическая частота изменения площади проходного сечения будет

$$\omega_{\min} = \frac{\vartheta_{3B}}{R_{iz}}, \quad (2)$$

где ϑ_{3B} – скорость звука в газообразных средах, м/с; R_{iz} – радиус изделия, м.

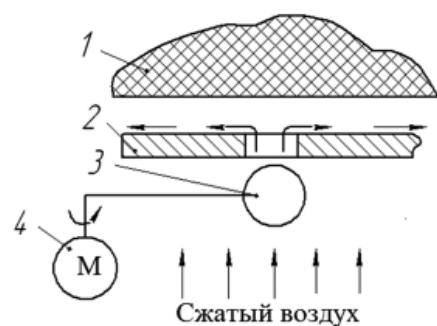


Рис. 5. Система «Сферическая заслонка – цилиндрическое сопло – несущая газовая прослойка»:

1 – объект; 2 – цилиндрическое сопло; 3 – сферическая заслонка; 4 – источник движения

При невыполнении условия (2) в прослойке будут возникать зоны пневмозахвата, наличие которых приводит к вынужденным колебаниям изделия. Возникновение таких зон обусловлено большим влиянием инерционных членов, которое проявляется при установившемся режиме подачи газа.

В случае дискретной подачи влияние инерционных членов снижается, а при частоте запитывания, превышающей ω_{\min} , полностью исключается. При этом стационарная составляющая давления снижается до величины, соответствующей расходу Q_{\min} , а волновая пропорциональна импульсному изменению расхода от Q_{\min} до Q_{\max} . Максимальный Q_{\max} и минимальный Q_{\min} расход газа равен соответственно расходу при полностью открытом отверстии и расходу, когда площадь проходного сечения наименьшая.

Волновую составляющую давления можно получить, используя выражение [3]

$$\frac{\partial^2(p_B r)}{\partial t^2} = \vartheta_{3B}^2 \frac{\partial^2(p_B r)}{\partial r^2},$$

где r – текущий радиус, м; t – текущее время, с.

Частное решение волнового уравнения для расходящейся цилиндрической волны, распространяющейся от центра отверстия, имеет вид

$$p_B = \frac{P_1}{\sqrt{r}} \exp\left[i(\omega_B t - kr)\right], \quad (3)$$

где P_1 – параметр, характеризующий систему; ω_B – рабочая циклическая частота изменения площади проходного сечения, рад/с; k – волновое число.

Рабочая циклическая частота изменения площади проходного сечения

$$\omega_B = \varepsilon \omega_{\min} = \varepsilon \frac{\vartheta_{3B}}{R_{\text{из}}}, \quad (4)$$

где $\varepsilon \geq 1$ – масштабный коэффициент.

Волновое число

$$k = \frac{\omega_B}{\vartheta_{3B}} = \frac{\varepsilon}{R_{\text{из}}}. \quad (5)$$

Параметр, характеризующий систему,

$$P_1 = p_0 \sqrt{r_0}, \quad (6)$$

где p_0 – давление волны на расстоянии r_0 от центра отверстия, Па; r_0 – радиус отверстия, м.

Выражение (3) с учётом (4) – (6) примет вид

$$p_B = p_0 \sqrt{\frac{r_0}{r}} \exp\left[i \frac{\varepsilon}{R_{\text{из}}} (\vartheta_{3B} t - r)\right]. \quad (7)$$

Давление звуковой волны на расстоянии r_0 от центра отверстия

$$p_0 = \frac{\rho(Q_{\max} - Q_{\min})^2}{4\pi r_0 h},$$

где ρ – плотность газа, кг/м³; h – толщина прослойки, м; Q_{\min} – минимальный расход газа, когда площадь проходного сечения наименьшая, м³/с; Q_{\max} – максимальный расход газа при полностью открытом отверстии, м³/с.

Выражение, описывающее поле давления в газовой прослойке, образованной истечением газа, можно определить, используя систему уравнений Навье–Стокса совместно с уравнением неразрывности:

$$\begin{cases} \frac{\partial V_r}{\partial t} - \vec{V} \nabla V_r - \frac{V^2 \varphi}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \\ + \nu \left(\Delta V_r - \frac{V_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V \varphi}{\partial \varphi} \right); \\ \frac{\partial V_\varphi}{\partial t} + \vec{V} \nabla V_\varphi + \frac{V_r V \varphi}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \\ + \nu \left(\Delta V_\varphi + \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} - \frac{V_\varphi}{r^2} \right); \\ \frac{\partial V_z}{\partial t} + \vec{V} \nabla V_z = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \Delta V_z; \\ \frac{1}{r} \frac{\partial(r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0, \end{cases}$$

где $\nabla f = \vec{r} \frac{\partial f}{\partial r} + \vec{\varphi} \frac{1}{r} \frac{\partial f}{\partial \varphi} + \vec{z} \frac{\partial f}{\partial z}$;

$$\Delta f = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial f}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 f}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2};$$

V_r , V_φ , V_z – составляющие скорости воздуха по соответствующим координатам r , φ и z , м/с; ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

Точное описание процессов течения воздуха в прослойке аналитическими методами является достаточно сложным, поэтому при создании математической модели необходимо ввести ряд допущений, известных из теории газовой смазки [1, 4–6]: вязкость и плотность газа по толщине газовой прослойки можно считать постоянными;

влажность газа в прослойке соответствует влажности окружающей среды;

опорная поверхность тела и рабочая поверхность газораспределительной решётки плоскопараллельны;

шероховатость поверхности тела и газораспределительной решётки не учитывается ввиду малости по отношению к толщине прослойки

$$h_{\min} > R_{zp} + R_{zt},$$

где R_{zp} – шероховатость рабочей поверхности газораспределительной решётки; R_{zt} – шероховатость опорной поверхности объекта;

давление газа в образованной под опорной поверхностью объекта воздушной прослойке не изменяется по её толщине, т. е. $\frac{\partial P}{\partial z} \approx 0$;

производная какого-либо компонента скорости движения газа по направлению, параллельному плоскости несущей поверхности, значительно меньше производной того же компонента по направлению, перпендикулярному несущей поверхности, поскольку высота прослойки значительно меньше линейных размеров ограничивающих её поверхностей;

скоростями относительного перемещения поверхностей, ограничивающих газовую прослойку, можно пренебречь ввиду их малости по сравнению со скоростью движения газа;

процессы, происходящие в газовой прослойке при удержании тела, являются изотермическими.

С учётом принятых допущений систему уравнений Навье–Стокса и уравнение неразрывности можно записать в виде

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial r} = \mu \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2}; \\ \frac{\partial p}{\partial z} = 0; \\ \frac{\partial p}{\partial j} = 0; \end{cases} \quad (8)$$

$$\frac{\partial(rV_r)}{\partial r} = 0, \quad (9)$$

где μ – динамическая вязкость газа, Па·с.

Из уравнения (9) видно, что радиальная составляющая скорости обратно пропорциональна радиусу. В этом случае её величину выразим следующим образом:

$$V_r = \frac{c(z)}{r},$$

где $c(z)$ – переменная, не зависящая от r ; $c(z) = c_0 + c_1z + c_2z^2 + c_3z^3 + \dots + c_\infty z^\infty$.

Так как распределение скорости газа по оси z в прослойке имеет параболический характер, что следует из закона Пуазейля, можно ограничиться второй степенью параметра z [7–9]. Тогда переменную $c(z)$ можно определить из выражения

$$c(z) = c_0 + c_1z + c_2z^2. \quad (10)$$

С учётом граничных условий

при $z = 0$, $V_r = 0$ следует $c_0 = 0$;

при $z = h$, $V_r = 0$, следует $c_1 = -c_2h$

и выражения (10) уравнение для определения скорости газа имеет вид

$$V_r = \frac{c_2(z-h)}{r}. \quad (11)$$

Для определения переменной c_2 введём понятие средней скорости газа в прослойке. Под средней скоростью будем понимать расчётную величину V_{cp} , не зависящую от z и обеспечивающую заданный расход через рассматриваемое сечение.

С учётом изложенного выше из уравнения (11) получим

$$V_{cp} = \frac{1}{h} \int_0^h V_r dr = -\frac{c_2 h^2}{6r}. \quad (12)$$

Расход газа через кольцевое сечение радиуса r

$$2\pi r h V_{cp} = Q_{\min}. \quad (13)$$

Константа интегрирования определяется при совместном решении уравнений (12) и (13):

$$c_2 = -\frac{3Q_{\min}}{\pi h^3}. \quad (14)$$

С учётом уравнения (14) выражение (11) примет вид

$$V_r = -\frac{3Q_{\min}z(z-h)}{\pi r h^3}. \quad (15)$$

После подстановки выражения (15) в систему (8) и осреднения по z получена зависимость для распределения давления газа в несущей прослойке:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -\frac{6\mu Q_{\min}}{\pi h^3 r}. \quad (16)$$

Решение дифференциального уравнения (16) с учётом граничных условий (при $r = R_{iz}$, и $p = p_a$) имеет вид

$$p_{\text{ср}} = p - p_a = \frac{6\mu Q_{\min}}{\pi h^3} \ln \frac{R_{\text{из}}}{r}, \quad (17)$$

где p – полное абсолютное давление в зазоре, соответствующее текущему радиусу r , Па; p_a – атмосферное давление, Па.

Таким образом, выражение (1) с учётом (7) и (17) примет вид

$$p = \frac{6\mu Q_{\min}}{\pi h^3} \ln \frac{R_{\text{из}}}{r} + p_0 \sqrt{\frac{r_0}{r}} \exp \left[i \frac{\epsilon}{R_{\text{из}}} (\vartheta_{3B} t - r) \right]. \quad (18)$$

Для определения минимального расхода выражение (18) проинтегрируем по площади, в результате получим

$$\begin{aligned} & \frac{\rho Q_{\min}^2 \left(\frac{S_{\max}}{S_{\min}} - 1 \right)^2}{3h} \left(R_{\text{из}} \sqrt{\frac{R_{\text{из}}}{r_0}} - r_0 \right) + \\ & + \frac{3\mu Q_{\min}}{h^3} \left(R_{\text{из}}^2 - r_0^2 + 2r_0^2 \ln \frac{r_0}{R} \right) - mg = 0, \end{aligned} \quad (19)$$

где S_{\max} , S_{\min} – площадь проходного сечения при максимальном и минимальном расходе газа соответственно, м^3 ; m – масса изделия, кг.

Решив уравнение (19) относительно Q_{\min} , получим

$$\begin{aligned} Q_{\min} = & \left\{ -\frac{3\mu}{h^3} \left(R_{\text{из}}^2 - r_0^2 + 2r_0^2 \ln \frac{r_0}{R_{\text{из}}} \right) + \right. \\ & + \left[\frac{9\mu^2}{h^6} \left(R_{\text{из}}^2 - r_0^2 + 2r_0^2 \ln \frac{r_0}{R_{\text{из}}} \right)^2 + \right. \\ & \left. \left. + \frac{4\rho mg \left(\frac{S_{\max}}{S_{\min}} - 1 \right)^2}{h} \left(R_{\text{из}} \sqrt{\frac{R_{\text{из}}}{r_0}} - r_0 \right) \right]^{1/2} \right\} / \end{aligned}$$

$$\frac{2\mu \left(\frac{S_{\max}}{S_{\min}} - 1 \right)^2}{3h} \left(R_{\text{из}} \sqrt{\frac{R_{\text{из}}}{r_0}} - r_0 \right).$$

Приведённые зависимости позволяют рассчитать требуемые параметры, необходимые для создания под объектом несущей прослойки с дискретным режимом её запитывания.

На рис. 6 представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования поля давления в несущей прослойке проводились в соответствии с униформ-ротатабельным методом планирования [10]. В качестве измеряемого параметра выбрано избыточное давление воздуха p под объектом в зависимости от толщины h и текущего радиуса r .

Согласно описанному выше подходу к проектированию технических систем, на участке изменения r от 0 до $R_{\text{из}}$ можно выделить три интервала $(r_{-\alpha}, r_{-1})$, (r_{-1}, r_{+1}) и $(r_{+1}, r_{+\alpha})$, на которых течение газа в прослойке происходит по-разному. Так, на интервале $(r_{+1}, r_{+\alpha})$ наибольшее влияние оказывает наличие волновой составляющей, интервал $(r_{-\alpha}, r_{-1})$ характеризуется струйным воздействием на изделие, а на интервале (r_{-1}, r_{+1}) в равной степени проявляются свойства, присущие плёночному течению и волновому воздействию. Причём на интервалах $(r_{-\alpha}, r_{-1})$ и $(r_{+1}, r_{+\alpha})$ происходят сходные явления, а именно наличие турбулентности газового потока, определяемой в первом случае воздействием струйного течения, а во втором – срывом воздушного потока из-под объекта.

Значения границ интервалов взаимосвязаны друг с другом. Координаты звёздных точек $r_{-\alpha}$ и $r_{+\alpha}$ в данном случае определяются размером изделия и соответствуют значениям 0 и $R_{\text{из}}$. Параметры r_{-1} и r_{+1} определяются по выражениям

$$r_{-1} = r_0 - \frac{r_0 - r_{-\alpha}}{\alpha}, \quad r_{+1} = r_0 + \frac{r_{+\alpha} - r_0}{\alpha},$$

где α – величина звёздного плеча, зависит от количества качественных показателей, определяющих техническую систему; r_0 – координата центра, м; $r_0 = 0,5(r_{-\alpha} + r_{+\alpha}) = 0,5R_{\text{из}}$.

Как видно, на рис. 6 имеется некоторая точка r_a , при которой давление в прослойке не зависит от её толщины. Для определения координаты r_a продифференцируем выражение (18) по h и приведём его к нулю:

$$\left(\frac{-18\mu Q_{\min}}{\pi h^4} + \frac{6\mu}{\pi h^3} \frac{\partial Q_{\min}}{\partial h} \right) \ln \frac{R_{\text{из}}}{r_a} + \frac{\partial p_0}{\partial h} \sqrt{\frac{r_0}{r_a}} = 0.$$

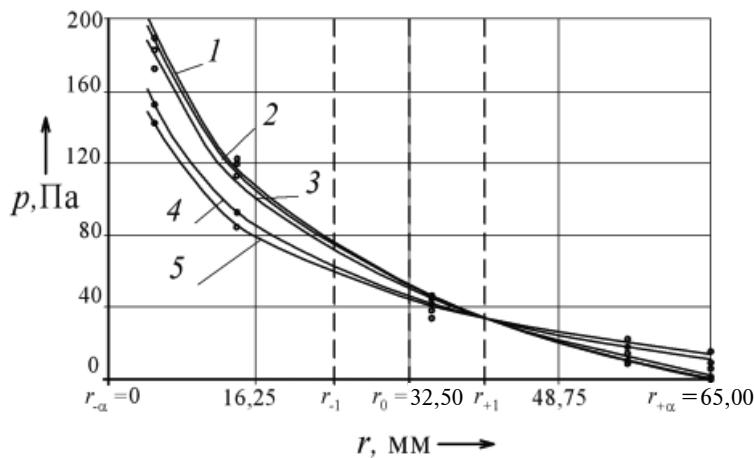


Рис. 6. Зависимость давления газа под объектом от текущего радиуса r и толщины несущей прослойки h :
1 – $h = 0,0001$ м; 2 – $h = 0,000232$ м; 3 – $h = 0,00055$ м; 4 – $h = 0,000868$ м; 5 – $h = 0,001$ м

Численное решение полученного выражения позволит определить значение r_a . Очевидно, что данная координата будет соответствовать некоторой границе интервалов, а именно $r_a = r_{+1}$.

Тогда величину звёздного плеча можно определить из выражения

$$\alpha = \frac{r_{+1} - r_0}{r_{+1} - r_0} = \frac{0,5R_{\text{из}}}{r_{+1} - 0,5R_{\text{из}}}.$$

В результате вычислений получено значение $\alpha \approx 4$. Следовательно, количество показателей, определяющих техническую систему, $n = \alpha^2 \approx 16$. В качестве таких показателей можно выделить характеристики, относящиеся к свойствам газа (плотность, температура, вязкость и др.), несущей газовой прослойке (её форма и толщина, расход газа, частота перекрытия выпускных сопел и др.), изделию (масса, форма и размеры опорной поверхности и др.) и газо-распределительной решётке (форма её поверхности, шероховатость, а также форма, размеры, число и взаимное расположение выпускных сопел и др.).

Необходимо отметить, что некоторые показатели в определённых интервалах незначительно влияют на гидродинамическую картину течения газа в прослойке, однако при выходе за рамки таких интервалов ими пренебрегать нельзя.

Приведённый анализ позволяет более точно выбирать гипотезы и допущения при математическом моделировании технических систем.

Апробацией такого подхода, по сути, является uniform-ротатабельное планирование эксперимента [10]. Кроме того, он (часто неосознанно) широко используется в различных отраслях науки и техники, например при определении износа

деталей под действием сил трения, отклонений в размерах деталей, ошибки измерений, наработки на отказ, рассеивания снарядов, размеров пузырьков газа при флотации и т. п. [11].

Библиографические ссылки

1. Битюков В.К., Колодёжнов В.Н., Кущев Б.И. Пневматические конвейеры. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. 164 с.
2. Марков В.П. Теплофизические параметры процесса закалки стекла на воздушной подушке // Стекло и керамика. 1974. № 1. С. 7–8.
3. Горелик Г.С. Колебания и волны. М.: Физматлит, 1959. 572 с.
4. Березовец М.Т., Дмитриев В.Н., Наджафаров Э.М. О допустимых упрощениях при расчётах пневматических регуляторов // Приборостроение. 1957. № 4. С. 11–18.
5. Константинеску В.Н. Газовая смазка. М.: Машиностроение, 1968. 720 с.
6. Лойцинский Л.Г. Механика жидкости и газов. М.: Наука, 1987. 840 с.
7. Битюков В.К., Колодёжнов В.Н., Чертов Е.Д. О некоторых особенностях проектирования пневмотранспортных устройств. М.: Машиностроение, 1977. № 11. С. 80–83.
8. Вулис Л.А., Кашкаров В.П. Теория струй вязкой жидкости. М.: Физматгиз, 1965. 432 с.
9. Битюков В.К., Кущев Б.И., Чертов Е.Д. Экспериментальное исследование распределения давлений в воздушной прослойке. Механизация производственных процессов пищевой и химической промышленности. Вып. 2. Воронеж, 1976. С. 140–145.
10. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. Л.: Химия, 1985. 48 с.
11. Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин. Л.: Наука, 1985.

УДК 550.808

Х.Г. Асадов, д-р техн. наук, Н.А. Абдуллаев, канд. техн. наук

(Научно-исследовательский институт Министерства обороны, г. Баку, Республика Азербайджан)

asadzade@rambler.ru

ОБОБЩЁННЫЙ МЕТОД ОКРУЖНОСТЕЙ ДЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ. ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ТРОПОСФЕРНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

Предложено обобщение ранее изложенного метода окружностей для акустической локации источников звука. Приведён операционный алгоритм обобщённого метода окружностей. Доказана базовая теорема метода окружностей для локализации источников звука. Показаны пути применения метода окружностей в тропосферной акустической локации.

Ключевые слова: локация, акустика, затухание, тропосфера, частота.

The generalization of previously suggested circles method for sound sources acoustic location is proposed. The operational algorithm of the generalized circles method is adduced. The circles method basic theorem is proved. The application means of the circles method in the troposphere acoustic location are shown.

Key words: location, acoustics, attenuation, troposphere, frequency.

Хорошо известно, что акустическая локация различных источников звуковых волн традиционно осуществляется классическим методом триангуляции [1]. Согласно этому методу, используя три микрофона, можно геометрически вычислить координаты источников звуковой энергии. Вместе с тем, в последнее время были предложены альтернативные методы акустической локации, к которым можно отнести метод окружностей [2, 3]. В соответствующих работах было показано, что метод окружностей, кроме обеспечения локации источников звука, также обладает дополнительным преимуществом, заключающимся в возможности одновременного вычисления мощности акустического источника. Однако в указанных работах теория предложенного метода окружностей была разработана недостаточно полно. В частности, не были рассмотрены следующие важные вопросы:

как без итерационной процедуры определить позицию источника, если его акустическая мощность известна;

каковы базовые ограничительные соотношения между основными параметрами системы локации.

Кроме того, отсутствуют аналитические выражения для избежания итерационных процедур геометрического построения.

Прослеживая направления и пути развития техники акустической локации, необходимо отметить, что техника акустической локации получила новое направление развития во второй половине прошлого века в виде атмосферной акустической локации. Такое развитие техники акустической локации было обусловлено необходимостью организации пассивного контроля за

проводением испытаний ядерного оружия. Для организации акустического контроля были использованы следующие свойства инфразвука:

практическое отсутствие энергетических потерь при распространении в воздухе;

способность распространяться с использованием различных атмосферных волноводных каналов.

При этом, как было показано в работе [4], относительно высокочастотные инфразвуковые волны также могут использоваться для тактических целей, например артиллерийской разведки.

В статье обобщён ранее предложенный метод окружностей и показаны пути применения этого метода в системе атмосферной тактической локации.

Для дальнейшего изложения предлагаемых методов и обобщений воспользуемся результатами работы [5]. Для случая плоских волн акустическая энергия, излучаемая точечным источником, затухает по экспоненциальному закону

$$A(x) = A_0 e^{-mx}, \quad (1)$$

где $A(x)$ – акустическая энергия, измеренная на расстоянии x от источника; m – общий коэффициент ослабления, зависящий от температуры и частоты акустических волн.

Заметим, что все результаты, полученные для модели плоских акустических волн, легко могут быть перенесены на случай рассмотрения сферических акустических волн, для которых аналогичное выражение имеет следующий вид

$$A(x) = \frac{A_0}{x} e^{-mx}. \quad (2)$$

По указанной причине далее будет использоваться только модель плоских акустических волн. Операционный алгоритм функционирования обобщённого метода окружностей заключается в следующем.

1. Определение временных разностей прихода акустической волны на микрофоны $M_i, i=1,3$. При этом считаем, что тот микрофон, который первым принял акустический сигнал, определяет отсчётную точку вычисления временных разностей, т. е. микрофон M_1 имеет нулевую временную разность $\Delta t_1 = 0$; микрофон $M_2 - \Delta t_2$; микрофон $M_3 - \Delta t_3$.

2. Определение монотонной зависимости $A_{\text{изм}i} = f(\Delta t_i)$ на основе проведённых экспериментальных измерений, где $A_{\text{изм}}$ является измеренной величиной $A(x)$.

3. Поиск информации об акустической мощности локализуемого источника.

4. Если информация об акустической мощности источника отсутствует, то осуществляется переход на итерационную процедуру локализации источника, изложенную в работах [2, 3].

5. Если имеется соответствующая информация об акустической мощности источника, то осуществляется переход на графоаналитический метод и используется аналитическая формула для вычислений, вывод которой будет изложен ниже.

Блок-схема изложенного выше алгоритма показана на рис. 1.

Прежде чем перейти к описанию предлагаемого графоаналитического метода, докажем следующую базовую теорему обобщённого метода окружностей.

Теорема. При организации акустической локации по методу окружностей всегда имеет место следующее соотношение:

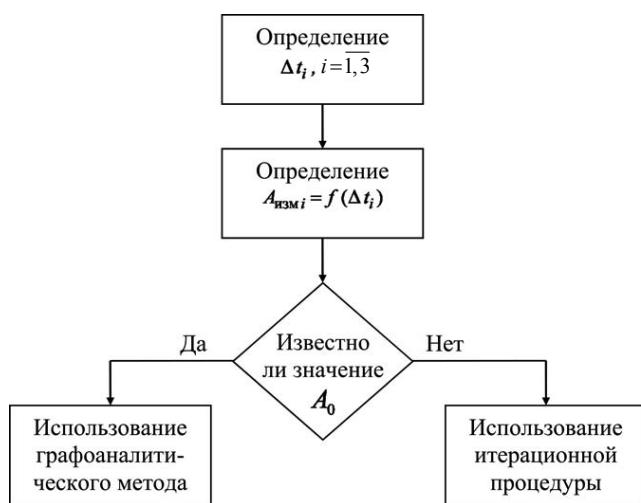


Рис. 1. Блок-схема алгоритма функционирования обобщённого метода окружностей

$$3 \ln A_0 \geq m v \sum_{i=2}^3 \Delta t_i + \sum_{i=1}^3 \ln A_{\text{изм}i}. \quad (3)$$

При этом знак равенства в выражении (3) соответствует случаю, когда позиции источника и одного из микрофонов совпадают.

Доказательство. Для доказательства приведённой выше теоремы воспользуемся выражением (1) с учётом

$$x = vt = v(t_0 + \Delta t), \quad (4)$$

где t_0 – неизменная составляющая всех времён прибытия акустической волны на микрофоны M_1, M_2 и M_3 .

С учётом выражений (3) и (4) имеем

$$v(t_0 + \Delta t) - \frac{1}{m} \ln A_0 + \frac{1}{m} \ln A(x) = 0. \quad (5)$$

Осуществим замену переменной $A(x)$ на $A_{\text{изм}i}, i=1,3$.

Используя выражение (5) для всех трёх микрофонов, получим

$$\left. \begin{aligned} t_{01} &= -\Delta t_1 + \frac{1}{m v} \ln A_{01} - \frac{1}{m v} \ln A_{\text{изм}1}; \\ t_{02} &= -\Delta t_2 + \frac{1}{m v} \ln A_{02} - \frac{1}{m v} \ln A_{\text{изм}2}; \\ t_{03} &= -\Delta t_3 + \frac{1}{m v} \ln A_{03} - \frac{1}{m v} \ln A_{\text{изм}3}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

В отношении системы уравнений (6) отметим, что при

$$t_{01} = t_{02} = t_{03} = t_0; \Delta t_3 = 0 \quad (7)$$

можно считать, что вычисленная величина t_0 с учётом определённого масштабного коэффициента будет характеризовать расстояние между микрофоном M_3 и источником.

Используя выражения (6) и (7), получим

$$t_0 = -\frac{\sum_{i=2}^3 \Delta t_i}{3} + \frac{\ln A_0}{m v} - \frac{\sum_{i=1}^3 \ln A_{\text{изм}i}}{3 m v}. \quad (8)$$

Из выражения (8) имеем

$$3 \ln A_0 - \sum_{i=1}^3 \ln A_{\text{изм}i} - t_0 = \left(\sum_{i=0}^3 \Delta t_i \right) m v. \quad (9)$$

Так как $t_0 \geq 0$, то из выражения (9) получим следующее неравенство

$$3 \ln A_0 - \sum_{i=1}^3 \ln A_{\text{изм}i} \geq m v \left(\sum_{i=0}^3 \Delta t_i \right), \quad (10)$$

что и требовалось доказать.

Отмеченный выше графоаналитический метод основывается на результатах приведённой теоремы и заключается в следующем:

- вычисление показателя t_0 по формуле (8);
- вычисление временных параметров $t_i = \Delta t_i + t_0$, $i = \overline{1, 3}$;

проведение окружности i , центр которой совпадает с позицией соответствующего микрофона M_i , радиус R_i , $i = \overline{1, 3}$ определяется как $R_i = v(\Delta t_i + t_0)$.

Процедура начертания окружностей условно отображается на рис. 2.

Для применения предложенного обобщённого метода окружностей к задачам тропосферной акустической локации должны быть приняты во внимание следующие обстоятельства:

инфразвуковые акустические волны, включая относительно высокочастотные инфразвуковые волны (5–15 Гц), в основном ослабляются за счёт рассеяния при отражении от атмосферных слоёв имеющих температурный градиент [4];

атмосфера содержит слои с минимальным акустическим сопротивлением. При этом высота таких слоёв уменьшается с увеличением частоты инфразвука. Следуя общепринятой концепции об отражении инфразвуковых волн от слоёв, содер-

жащих неоднородности (температурные градиенты, изменение концентрации частиц и т. д.), можно с уверенностью предположить, что инфразвук частотного диапазона 10–15 Гц будет отражаться с высот 12–15 км, что соответствует при однократном отражении зоне 20–40 км от источника. С учётом сказанного выше применительно к тропосферным системам акустической локации базовая формула (1) может быть записана в следующем виде:

$$A(t)_T = A_0 k e^{-m_c V_c t}, \quad (11)$$

где k – коэффициент, учитывающий уменьшение энергии акустической волны при однократном отражении от тропосферного слоя за счёт рассеяния; m_c – средняя величина коэффициента ослабления акустической волны при прохождении трассы земля – тропосфера – земля; v_c – средняя скорость прохождения указанной трассы; t_{cp} – время прохождения той же трассы.

На основе вышеизложенного формула (8) применительно к тропосферной локации приобретает следующий вид:

$$t_0 = -\frac{\sum_{i=2}^3 \Delta t_i}{3} + \frac{\ln k A_0}{m_{\text{cp}} v_{\text{cp}}} - \frac{\sum_{i=1}^3 \ln A_{\text{изм}i}}{3 m_{\text{cp}} v_{\text{cp}}}.$$

При этом для геометрического определения позиции источника может быть использована процедура, изложенная в работах [2, 3].

Следует отметить, что область применения предложенного метода окружностей не ограничивается только тропосферной акустической локацией. На основе изложенных в настоящей статье теоретических положений могут быть разработаны соответствующие приложения применительно к стратосферным и термосферным акустическим каналам.

В заключение сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования:

предложено обобщение ранее изложенного метода окружностей для акустической локации источников звука. Приведён операционный алгоритм обобщённого метода окружностей;

доказана базовая теорема метода окружностей для локализации источников звука;

показаны пути применения метода окружностей в тропосферной акустической локации.

Библиографические ссылки

1. Sound ranging. http://en.wikipedia.org/wiki/Sound_ranging (дата обращения: 4.09.2009).

2. Абдуллаев Н.А., Абдулов Р.Н. Метод окружностей для локализации мест технологических взрывов

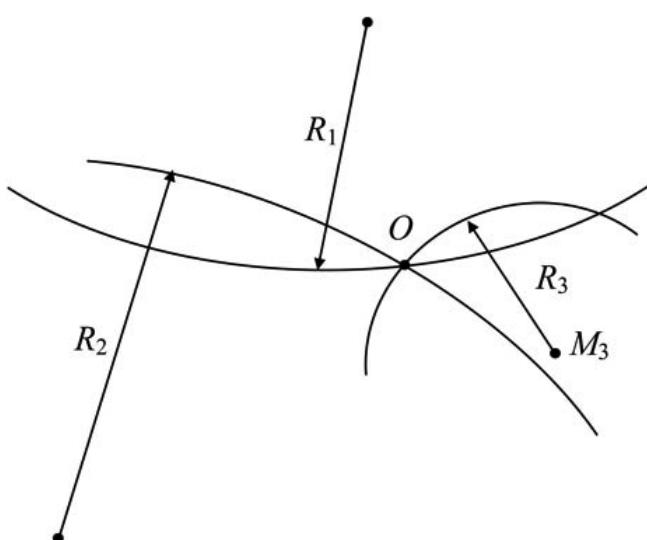


Рис. 2. Условное графическое отображение геометрического определения точки O – позиции источника акустических волн

на основе регистрации сферических акустических волн // Электронный журнал «Техническая акустика», 2 (5), 2010. <http://www.ejta.org> (дата обращения: 6.05.2010).

3. Асадов Х.Г., Абдуллаев Н.А., Абдулов Р.Н. Метод окружностей для локализации мест технологических взрывов на основе регистрации акустических волн в приземной атмосфере // Авиакосмическое приборостроение. 2009. № 12. С. 25–27.

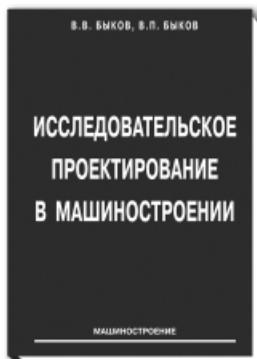
4. Stubs Ch. Tactical infrasound. <http://www.fas.org/irp/agency/dod/Jason/infrasound.pdf> (дата обращения: 12.09.2010).

5. Bohn D.A. Environmental effects on the Speed of Sound // Journal of Audio Engineering Society, 1988. Vol. 36. №. 4. C. 315–331.

6. Bass H.E., Hetzer C.H. An Overview of Absorption and Dispersion of Infrasound in the Upper Atmosphere. <http://fas.org/irp/agency/dod/Jason/infrasound.pdf> (дата обращения: 22.12.2009).



ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ



В.В. БЫКОВ, В.П. БЫКОВ

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

2011 г. 256 с. ISBN 978-5-94275-587-4

Цена 400 р.

Представлен программно-методический комплекс для поддержки ранних стадий проектирования в машиностроении. Комплекс показывает возможность автоматизации ранних стадий проектирования; он построен с расчетом на создание гибкого автоматизированного конструкторского бюро (ГАКОБ), способного быстро перенастраиваться на проектирование нового для проектной организации класса технических объектов.

Для специалистов и конструкторов всех отраслей промышленности, полезна студентам и преподавателям вузов.



Н.Д. Чайнов, Н.А. Иващенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Под ред. Н.Д. Чайнова

2011 г. 496 с. ISBN 978-5-94275-575-1

Цена 700 р.

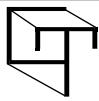
Учебник написан коллективом преподавателей кафедры "Поршневые двигатели" МГТУ им. Н.Э. Баумана – ведущей кафедры страны, которая свыше 100 лет подготавливает специалистов по двигателям внутреннего сгорания.

Изложены основы конструирования и современные методы прочностного анализа, необходимые при разработке новых двигателей и глубокой модернизации существующих, внедрении новых и нетрадиционных материалов и технологий, дан анализ конструкций современных отечественных и зарубежных двигателей, рассмотрены перспективы их развития. Наряду с традиционными методами расчетов на прочность базовых деталей двигателей представлены современные численные методы анализа теплового и напряженно-деформированного состояний элементов двигателей с применением современных информационных технологий.

Для лучшего усвоения материала учебник прекрасно иллюстрирован, в том числе цветными рисунками.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU



УДК 519.711.74

А.О. Звонов, А.Г. Янишевская, д-р техн. наук
(Омский государственный технический университет)

anna-yanish@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Рассмотрен комплексный подход к созданию информационно-измерительной системы. Предложено математическое и программное моделирование с последующим выбором необходимого оборудования. Система построена на базе персонального компьютера с подключёнными к нему датчиками и служит для централизованного контроля и регистрации показаний датчиков на промышленном предприятии.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, математическая модель, сеть массового обслуживания, логический контроллер, сетевой интерфейс.

Complex approach of the information-measuring system creature is considered. Mathematical and program modeling with subsequent selection of the necessary equipment is proposed. This system is created on the Personal Computer with connected sensors and serves for centralized control and sensors readout registration on the industry enterprise.

Key words: information-measuring system, mathematical model, mass service net, logical controller, network interface.

Развитие новой техники связано с внедрением новых технологий производства. Большое значение для производства имеет использование различного оборудования, режимы работы которого должны постоянно контролироваться, что, в свою очередь, требует проведения множества измерений. Централизация этих измерений упрощает и облегчает доступ к необходимой информации, регулирование сложных технологических процессов и т. д. Системы такого централизованного контроля и управления являются информационно-измерительными.

Измерительная информационная система (ИИС) – это совокупность функционально объединённых измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, предназначенных для получения измерительной информации, её преобразования, обработки с целью представления потребителю в требуемом виде либо автоматического осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации и др.

Основными компонентами ИИС являются различные технические устройства и линии связи между ними, предназначенные для обмена данными [1]. Это позволяет использовать при проектировании ИИС современные методы проекти-

рования информационных систем. Считается, что сложную систему описать невозможно из-за огромного числа возможных состояний, связей и компонентов. Однако методы математического анализа и моделирования позволяют не только проектировать сложные системы, но и исследовать их свойства, сравнивать потенциал различных подходов и технологий, осуществлять прогнозирование и управление.

Задачи анализа и проектирования информационных систем требуют разработки специализированных программных средств и использования специальных технологий их моделирования. Использование средств моделирования включает этапы, представленные на рис. 1 [2].

Построение концептуальной и программной моделей исследуемой системы заключается в выборе соответствующего множества объектов (модельных и программных) и установлении между ними структуры связей, соответствующей структуре связей элементов исследуемой системы.

К настоящему времени сети систем массового обслуживания (СеМО) являются широко распространённым средством аналитического моделирования и анализа вероятностно-временных характеристик информационных сетевых систем раз-

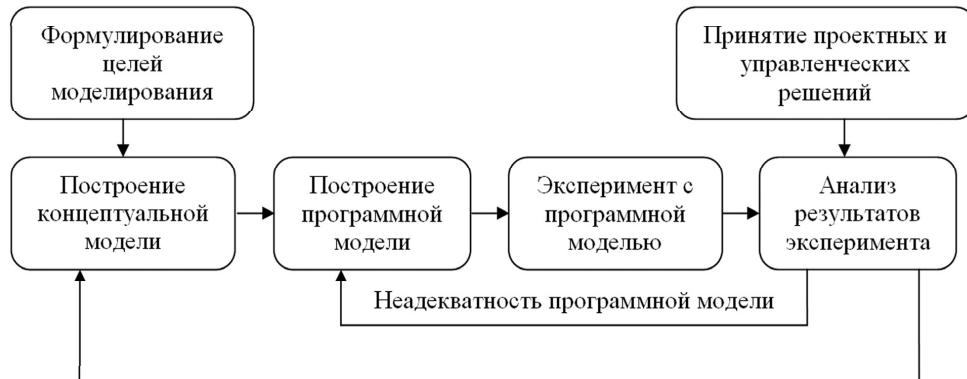


Рис. 1. Общая схема моделирования информационных систем

личного назначения [3]. Это обуславливается возможностью отображения алгоритмов функционирования этих систем с достаточно высоким уровнем адекватности и наличием эффективных методов расчёта этих сетей. В рамках теории массового обслуживания получены фундаментальные результаты, относящиеся непосредственно к сетям обслуживания, которые существенно определяют свойства исследуемых сетей и содержание методов их анализа и расчёта.

Развитие теории массового обслуживания во многих случаях даёт возможность отказаться от имитационного моделирования и значительно ускорить разработку моделей информационных систем, повысить их размерность и адекватность.

Сеть массового обслуживания определяется как некоторая структура систем массового обслуживания (СМО), по которой циркулирует множество требований различных классов. Требования обслуживаются в СМО в соответствии с некоторой заданной дисциплиной обслуживания, а длительность обслуживания является случайной величиной с заданной функцией распределения.

Сеть массового обслуживания Γ определяется следующим кортежем:

$$\Gamma = \langle L, K, Q, \vec{W}, T, \vec{r}, \vec{D}, \bar{\mu} \rangle,$$

где L — число систем обслуживания (C_i , $i = 1, \dots, L$) в сети; K — число классов требований в сети (для однородной сети $K = 1$); Q — параметр внешней нагрузки на сеть; \vec{W} — вектор типов функций распределений длительностей обслуживания требований в системах сети обслуживания; T — матрица передач; \vec{r} — вектор числа обслуживающих приборов в сети; \vec{D} — вектор дисциплин обслуживания требований в системах сети обслуживания; $\bar{\mu}$ — матрица функций интенсивностей обслуживания требований в сети обслуживания.

В свою очередь,

$$Q = \begin{cases} \lambda_0, & \text{если } \Gamma \text{ — открытая СМО;} \\ N, & \text{если } \Gamma \text{ — замкнутая СМО;} \end{cases}$$

$$\lambda_0 = \{\lambda_{0,k}, k = \overline{1, K}\};$$

$$N = \{N_k, k = \overline{1, K}\};$$

$$\vec{W} = \{W_i, i = \overline{1, L}\},$$

где λ_0 — вектор интенсивности внешнего потока требований; N — начальный вектор числа требований в сети; $\lambda_{0,k}$ — интенсивность внешнего потока требований k -го класса, поступающих в сеть обслуживания; N_k — начальное значение числа требований k -го класса в СМО; W_i — тип функции распределения длительности обслуживания требований в системе C_i (для открытой СМО W_0 — тип функции распределения длительности интервалов времени между последовательными требованиями во внешнем потоке).

Длительности обслуживания требований в каждой системе C_i предполагаются независимыми и одинаково распределёнными случайными величинами с экспоненциальными функциями распределения ($W_i = M$) либо функциями общего вида ($W_i = GI$).

Параметры T и D определяются из выражений

$$T = \begin{cases} (v_{i,j}), & \text{если } \Gamma \text{ однородна;} \\ (v_{i,k;j,l}), & \text{если } \Gamma \text{ неоднородна, } k, l = \overline{1, K}; \end{cases}$$

$$i, j = \begin{cases} \overline{0, L}, & \text{если } \Gamma \text{ — открытая СМО;} \\ C_0 — источник требований; \\ \overline{1, L}, & \text{если } \Gamma \text{ — замкнутая СМО;} \end{cases}$$

$$r = \{r_i, i = \overline{1, L}\};$$

$$D = \{D_i, i=1, L\},$$

где r_i — число обслуживающих приборов в составе системы C_i ; D_i — дисциплина обслуживания требований в системе C_i .

Существующие методы анализа и расчёта сетей обслуживания обеспечивают вычисление точных или приближённых значений их характеристик для стационарного режима. После построения концептуальной модели исследуемой системы переходят к программному моделированию.

Применительно к программированию класс — разновидность абстрактного типа данных. Суть отличия классов от других абстрактных типов данных состоит в том, что при задании типа данных класс определяет одновременно и интерфейс, и реализацию для всех своих экземпляров. Используемые классификации в зоологии, ботанике, химии, деталях машин основываются на том, что любую вещь всегда можно представить частным случаем некоторого более общего понятия. Класс может пониматься как некий шаблон, по которому создаются объекты — экземпляры данного класса. Определим в соответствии с этими требованиями набор объектов, составляющих компьютерную сеть.

Источник данных. Характеризуется скоростью генерации пакетов. Дополнительно может быть определён индивидуальный номер.

Обработчик данных. Характеризуется скоростью генерации пакетов. Дополнительно могут быть определены индивидуальный номер и объём пакетов, обрабатываемых в данный момент времени.

Буфер. Главной характеристикой буфера является его размер. Для удобства разработки и использования программы также может быть определён индивидуальный номер буфера, размер всех находящихся в буфере пакетов.

Линия связи. Характеризуется координатами начальной и конечной точек. Поскольку компоненты сети обладают индивидуальными номерами, удобно указать начальную или конечную точку, указав лишь номер соответствующего узла.

Пакет данных. Характеризуется объёмом.

Предоставляемая программой возможность автоматизировать проведение подобных расчётов позволяет значительно ускорить разработку информационной сети, ещё на этапе проектирования оценить её эффективность и надёжность.

Если результаты экспериментов с программной моделью удовлетворяют всех участников процесса разработки, следующим этапом построения системы является выбор аппаратного обеспечения и протоколов его функционирования.

Несмотря на существующие традиции применения программируемых логических контроллеров в промышленных сетях, многие задачи гораз-

до эффективнее решаются с помощью персональных компьютеров вместо контроллера [4]. Компьютер может быть использован также как пульт оператора (диспетчера) или выполнять одновременно функции контроллера и пульта оператора. В задачах автоматизации широко применяют как офисные, так и промышленные компьютеры.

Компьютер может быть превращён в полноценный контроллер, если на него установить систему программирования контроллеров; электронный диск вместо обычного жёсткого диска; платы ввода-вывода или внешние модули ввода-вывода; сторожевой таймер.

Электронный диск представляет собой ПЗУ, состоящее из микросхем флэш-памяти и конструктивно выполненное в виде корпуса обычного жёсткого диска со стандартными интерфейсами IDE и SCSI. Преимуществами электронного диска являются большая устойчивость к вибрациям, отсутствие акустического шума, высокая надёжность, низкое энергопотребление, малый вес.

Платы и внешние модули ввода-вывода для компьютера выпускаются многими независимыми производителями, что стало возможным благодаря наличию стандартов на конструктивное исполнение и шины как промышленных, так и офисных компьютеров.

Сторожевой таймер служит для перезагрузки компьютера в случае его зависания.

Соединение промышленной сети с её компонентами (устройствами, узлами сети) выполняется с помощью интерфейсов. Сетевым интерфейсом называют логическую и (или) физическую границу между устройством и средой передачи информации. Обычно этой границей является набор электронных компонентов и связанного с ними программного обеспечения. При существенных модификациях внутренней структуры устройства или программного обеспечения интерфейс остаётся без изменений, что является одним из признаков, позволяющих выделить интерфейс в составе оборудования.

Наиболее важными параметрами интерфейса являются пропускная способность и максимальная длина подключаемого кабеля. Промышленные интерфейсы обычно обеспечивают гальваническую развязку между соединяемыми устройствами. Наиболее распространены в промышленной автоматизации последовательные интерфейсы RS-485, RS-232, RS-422, Ethernet, CAN, HART, AS-интерфейс.

Для решения задач построения достаточно сложных и протяжённых сетей при наличии в компьютере одного свободного СОМ-порта в промышленной автоматизации широко используется интерфейс RS-485, обеспечивающий создание сетей с количеством узлов до 32 и передачу

на расстояние до 1200 м; использование повторителей RS-485 позволяет увеличить расстояние передачи и максимальное количество узлов. Для передачи и приёма данных используется одна витая пара проводов, иногда сопровождаемая экранирующей оплёткой или общим проводом. Соответствующий стандарт описывает только физические уровни передачи сигналов, т. е. выполняются следующие действия:

преобразование входящей последовательности «1» и «0» в дифференциальный сигнал;

передача дифференциального сигнала в симметричную линию связи;

подключение или отключение передатчика по сигналу протокола более высокого уровня;

приём дифференциального сигнала.

Для кабеля длиной 1000 м время распространения электромагнитной волны составляет 5,6 мкс при скорости распространения 200–225 км/с.

Электромагнитная волна, достигая конца кабеля, отражается от него и возвращается к источнику сигнала, отражается от источника и снова проходит к концу кабеля. Вследствие потерь на нагрев проводника и диэлектрика амплитуда волн в конце кабеля всегда меньше, чем в начале. Для типовых кабелей можно считать, что только первые три цикла прохождения волны существенно влияют на форму передаваемого сигнала: возникает общая длительность паразитных колебаний на фронтах передаваемых импульсов, связанных с отражениями, около 33,6 мкс при длине кабеля 1 км.

Топология сетей на основе интерфейса RS-485 определяется необходимостью устранения отражений в линии передачи. Поскольку отражения происходят от любой неоднородности, в том числе ответвлений от линии, то единственной правильной топологией сети будет последовательное соединение всех устройств. Любые варианты, в которых линия имеет длинные отводы или соединение нескольких кабелей в одной точке, приводят к отражениям и снижению качества передачи. Сказанное справедливо только для высоких ско-

ростей передачи (более 9600 бит/с), когда эффекты отражения влияют на достоверность передачи. Для низких скоростей длина отвода может быть произвольной.

Если существует необходимость разветвления линии, это можно сделать с помощью повторителей интерфейса или концентраторов. Повторители позволяют разделить линию на сегменты, в каждом из которых выполняются условия согласования с помощью двух терминальных резисторов и не возникают эффекты, связанные с отражениями от концов линии, а длина отвода от линии до повторителя всегда может быть сделана достаточно малой.

Сегодня на рынке имеется множество подключаемых к промышленной сети устройств, работающих с интерфейсом RS-485. Информационно-измерительная система, включающая в себя компьютер и ряд датчиков, может быть построена с использованием логических контроллеров, повторителей, преобразователей интерфейса и других устройств. Однако, если функцией информационно-измерительного комплекса является только получение, сохранение и отображение показаний датчиков на пульте оператора, список необходимого оборудования может быть сокращён. Один из вариантов такой сети представлен на рис. 2. Датчики *D* соединяются последовательно, в соответствии с требованиями протокола RS-485, затем к сети подключается преобразователь интерфейса *P*, передающий данные в компьютер *K* по USB-кабелю.

Итак, комплексный подход позволяет осуществить интеграцию информационно-измерительного комплекса в компьютерную сеть предприятия в кратчайшие сроки и с минимальными затратами. При этом требуется последовательно осуществить составление программной и математической модели сети, однако зачастую это оказывается эффективнее [5] применения эмпирических правил и проведения серии дорогостоящих испытаний. Используемые при этом

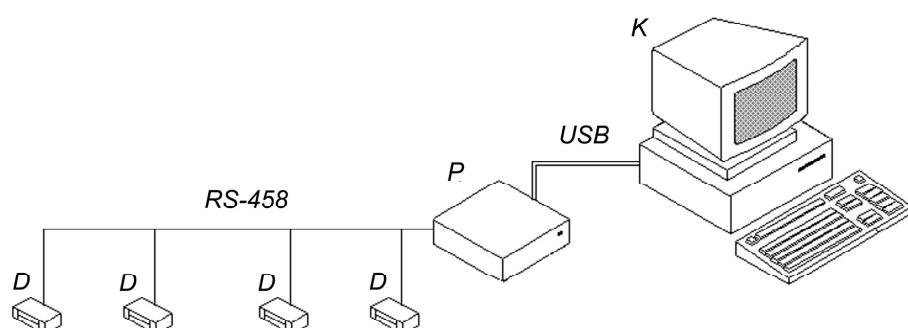


Рис. 2. Структура сети

технологии доказали свою эффективность в решении задач моделирования и промышленной автоматизации.

Библиографические ссылки

1. Хелд Г. Технологии передачи данных. Изд. 7-е / СПб.: Питер, 2003. 720 с.
2. Катунин Г.П., Шувалов В.П. Телекоммуникационные системы и сети: учеб. пособие в 3-х т. Т. 3 / Изд. 2-е. М.: Горячая линия–Телеком, 2004. 672 с.

3. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / М.: Техносфера, 2003. 512 с.

4. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / М.: Горячая линия–Телеком, 2009. 608 с.

5. Боккер П. ISDN. Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы / пер. с нем. Э.Б. Ершова, Э.В. Кордонский. М.: Радио и связь, 1991. 298 с.

УДК 658.011.56

К.И. Замятин (Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета),
А.П. Кузнецов, канд. техн. наук, доц. (Ижевский государственный технический университет)

vfistu2008@yandex.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СИНТЕЗЕ СТРУКТУР-СТРАТЕГИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ МАШИНОСТРОЕНИЯ (СППР «СИНТЕЗ ПС»)

Рассмотрена автоматизированная система поддержки принятия решений «Синтез ПС», обеспечивающая оперативное моделирование и выбор рациональной структуры-стратегии при изменении номенклатурной модели предприятия.

Ключевые слова: автоматизированная система, синтез структур-стратегий, производственная система.

The decision-making support automatic system «Synthesis PS», providing operative modeling and rational structure-strategy choice as the enterprise nomenclatural model change, is considered.

Key words: automatic system, structures-strategy synthesis, production system.

Машиностроительное предприятие, осуществляющее хозяйственную деятельность в условиях рыночной конкуренции, стремится минимизировать затраты на производство и вместе с этим максимизировать свою прибыль. Решение этой многокритериальной задачи подразумевает использование автоматизированных систем, реализующих процесс поддержки принятия решений. Международная ассоциация MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association) характеризует такое программное обеспечение как специализированное прикладное, предназначенное для решения задач оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства. Несмотря на большое количество уже существующих систем, позволяющих на практике реализовать технологию PLM (Product Lifecycle Management), на рынке программного обеспечения отсутствуют приложения, позволяющие выполнять проектирование производственной системы (ПС) или осуществлять анализ уже существующего производства.

Разработанная автоматизированная система «Синтез ПС» обеспечивает поддержку принятия

решений при реализации программ технического развития многонomenkлатурных машиностроительных предприятий, характеризующихся единичным и мелкосерийным производством.

Работая в условиях единого информационного пространства предприятия, система обеспечивает:

формализованное описание деталей машиностроения, технологического и информационного обеспечения в виде множеств их параметров;

выбор технологического и информационного обеспечения ПС;

синтез вариантов ПС машиностроения в зависимости от выбранных критериев синтеза;

формирование отчётов, содержащих технико-экономические параметры синтезированных вариантов.

Структура СППР «Синтез ПС» показана на рис. 1. Основой системы является модуль поддержки принятия решений. К подсистемам данного модуля относятся:

подсистема формирования исходных множеств – набор программных модулей, обеспечивающих выбор и формирование данных, необходимых для

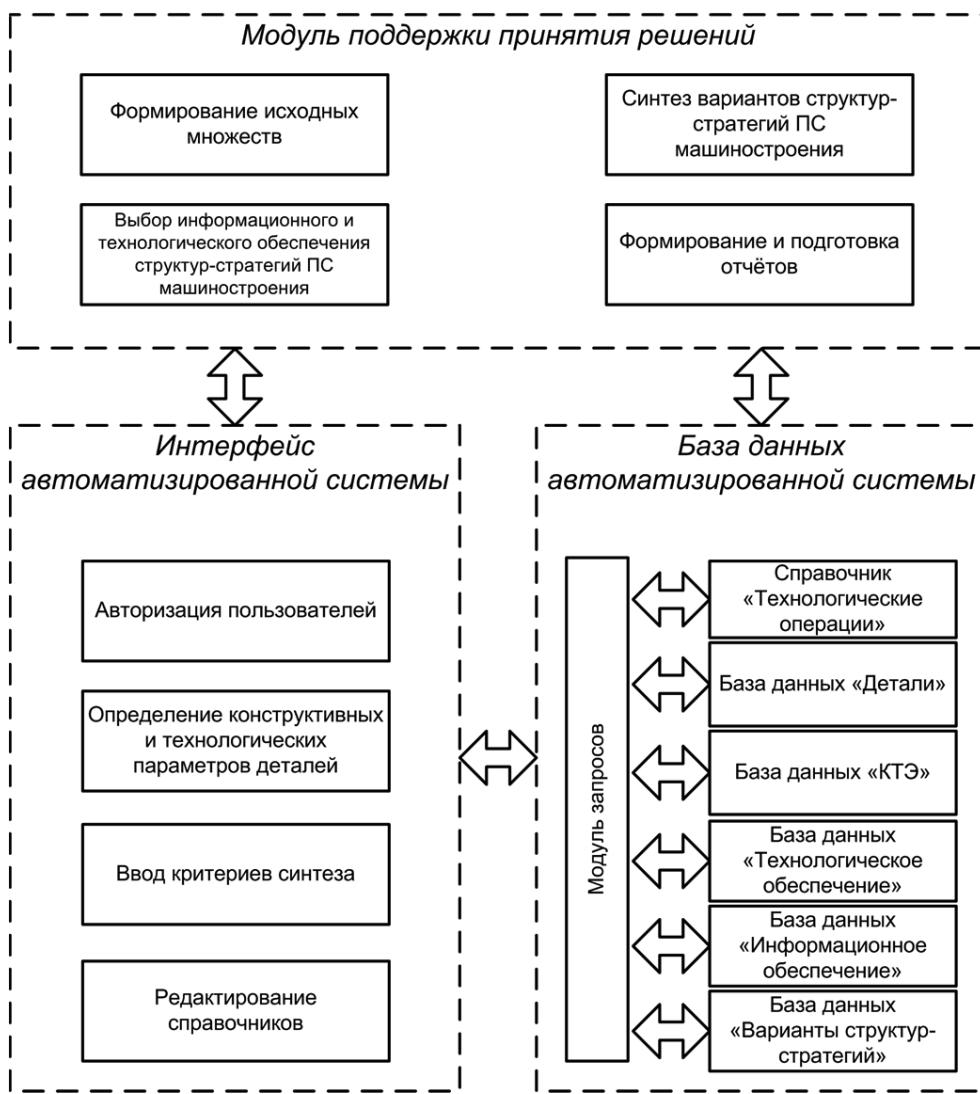


Рис. 1. Структура автоматизированной системы поддержки принятия решений

функционирования системы поддержки принятия решений;

подсистема подбора информационного и технологического обеспечения – совокупность программных модулей, реализующих математическую модель выбора технологических элементов производственных систем машиностроения;

подсистема синтеза вариантов производственных систем машиностроения на основе показателя конструктивно-технологической сложности и заданных критериев синтеза;

подсистема формирования отчётов – набор программных модулей, обеспечивающий сбор, обработку и структурирование результатов работы автоматизированной системы поддержки принятия решений.

Алгоритм работы модуля поддержки принятия решений при синтезе вариантов структуры-стратегии ПС машиностроения приведён на рис. 2.

Функционирование данного модуля начинается с подключения к справочнику конструктивно-технологических элементов, справочнику технологического оборудования и информационного обеспечения, настройки и создания основных структур, данных и объектов, используемых при выполнении синтеза вариантов производственных систем машиностроения. На следующем этапе подготавливаются и формализуются запросы, необходимые для функционирования автоматизированной системы.

После выполнения двух предыдущих этапов происходит непосредственно процесс выбора технологического и информационного обеспечения и синтез вариантов производственных систем машиностроения. При этом формируются варианты модернизации элементов структуры-стратегии в зависимости от заданных ранее параметров и критериев синтеза.

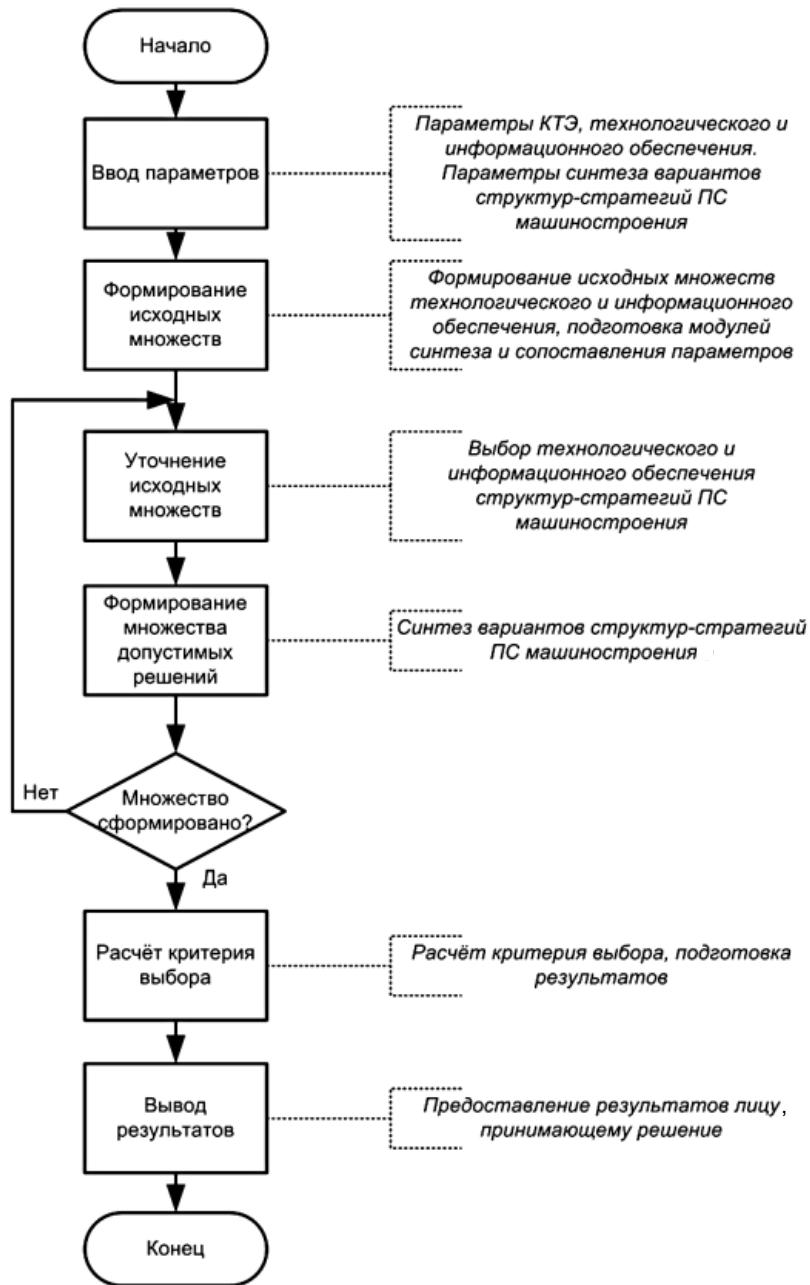


Рис. 2. Общий алгоритм работы автоматизированной системы поддержки принятия решений

Основным при выборе технологического обеспечения структур-стратегий ПС машиностроения является соотношение

$$A' = \left[a_1, a_2, \dots, a_n \mid a_i \in A, \text{ при } \bigwedge_{j=1}^4 f_j(X) = 1 \right], \quad (1)$$

где X – подмножество параметров технологического оборудования, при которых функция может принимать единичное или нулевое значение; f_j – функция принадлежности для элементов подмножества A' , определённая в терминах алгебры логики.

В свою очередь,

$$f_j = \bigvee_{i=1}^n \phi_i(x_k), \quad (2)$$

где ϕ_i – дизъюнктивный терм, принимающий единичное значение при наборе высказываний x_k , если каждое высказывание принимает истинное значение.

Таким образом, автоматизированная система поэтапно уточняет множество параметров технологического обеспечения. При этом оборудование, не удовлетворяющее тем или иным конст-

рукторско-технологическим параметрам, исключается из дальнейшего рассмотрения [2].

Одной из наиболее сложных в модуле поддержки принятия решений является подсистема синтеза вариантов структуры-стратегии производственной системы [3]. Указанная подсистема, входными данными которой является уточнённое на предыдущем этапе множество параметров технологического обеспечения, реализует задачу синтеза конкретных вариантов структуры-стратегии ПС.

Обобщённый алгоритм синтеза вариантов структуры-стратегии приведён на рис. 3.

В зависимости от типажа оборудования все элементы множества A' подлежат группировке в m упорядоченных множеств $t_i \in T$, при этом каждое такое множество содержит станки, относящиеся к одной и той же группе технологического оборудования. В этом случае количество вариантов структур-стратегий ПС машиностроения будет равно сумме комбинаторных конфигураций, полученных сочетанием всех элементов ранее сформированных множеств. На данном этапе формируется множество B вариантов структур-стратегий ПС машиностроения, имеющее вид

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_{n-1}, b_n\}; \quad (3)$$

$$b_i = \bigcap t_{k,l}, \quad (4)$$

где $t_{k,l}$ – комбинаторные конфигурации элементов k и l множества T .

В свою очередь,

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_{m-1}, t_m\}; \quad (5)$$

$$t_i = \{a_j \in A' \mid \text{тип оборудования}\}. \quad (6)$$

На заключительном этапе для каждого элемента множества B рассчитывается критерий выбора и формируются отчёты, предоставляемые пользователю для дальнейшего использования.

Особенности автоматизированной системы можно проследить на примере цеха механообработки одного из предприятий Уральского региона. Данный цех характеризуется разнообразной номенклатурой изделий разных групп сложности.

Входными данными для автоматизированной системы является «справочник металлорежущего оборудования», параметры синтеза и множество

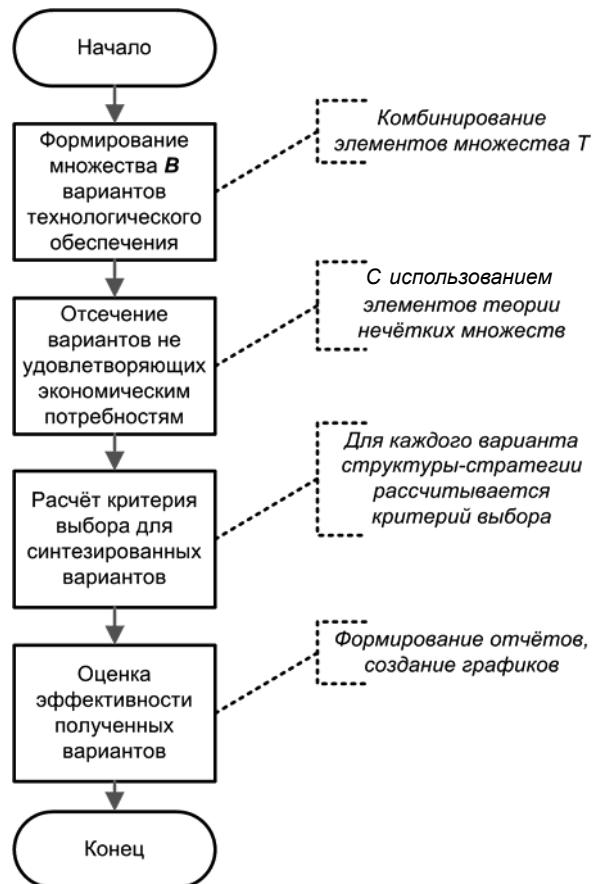


Рис. 3. Алгоритм синтеза вариантов структур-стратегий ПС машиностроения

Автоматизированная система поддержки принятия решений «Синтез ПС» - ввод данных

Общие данные Оборудование Детали Критерии синтеза

Ремонтно-механический цех

Шифр детали
БА 7.084.847.

Параметры детали

Тип:
Корпусные Чертеж

Годовая программа, шт.:
768

Трудоемкость, н/ч:
11597

Вектор размеров:
24x17,5x51,5 Определить

Добавить Удалить

КТЭ
БА 7.084.847.
10100 – 100x130 (1)

Изображение

Наименование:
Плоскость закрытая

Типовая технологическая операция:
Фрезерование концевой фрезой

Вектор размеров:
37,5x100x45

Количество:
1

Добавить

Рис. 4. Интерфейс ввода параметров автоматизированной системы

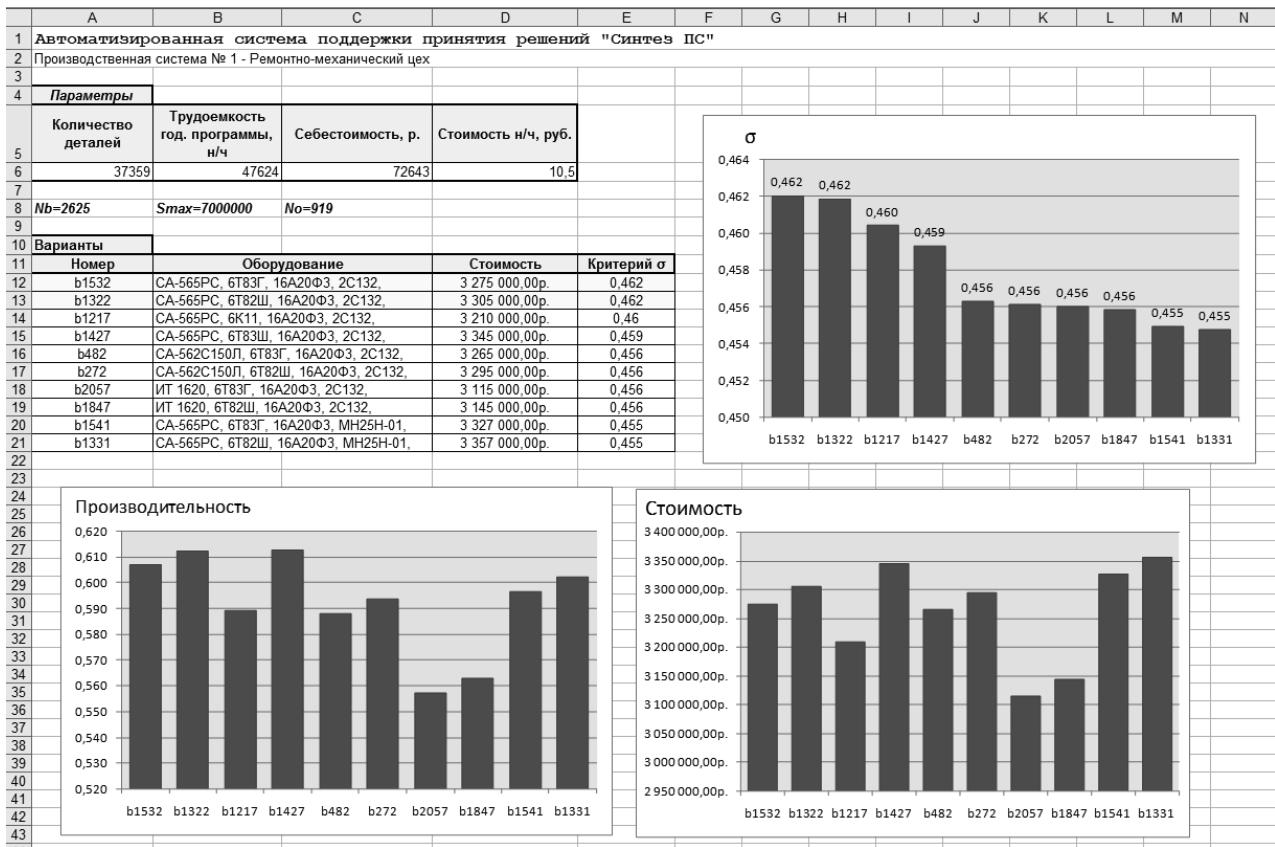


Рис. 5. Итоговый отчёт, сформированный автоматизированной системой

конструктивно-технологических элементов, полученных декомпозицией деталей в соответствии с методами теории конструктивно-технологической сложности (рис. 4) [4].

В соответствии с алгоритмом функционирования СППР «Синтез ПС» [5] в автоматическом режиме реализованы основные этапы синтеза вариантов структур-стратегий ПС машиностроения, при этом в итоговое множество вошло 919 элементов.

После завершения процедуры синтеза автоматизированной системой формируются отчёты, содержащие технико-экономические параметры полученных вариантов (рис. 5). Окончательный вариант модернизации ПС выбирается лицом, принимающим решение, в качестве которого может выступать специалист отдела главного технолога предприятия.

Таким образом, разработанная СППР «Синтез ПС» позволяет осуществить формирование технологического и информационного обеспечения структур-стратегий производственных систем в соответствии с состояниями и характеристиками номенклатурной модели предприятия. Автоматизированная система даёт возможность оперативно моделировать и выбирать рациональную структуру-стратегию при изменении номенклатурной модели предприятия.

СППР «Синтез ПС» разработана в рамках гранта по государственной поддержке ведущих

научных школ РФ (НШ-2010) на тему «Разработка теоретических основ структур-стратегий ПС машиностроения и создание концепции информационной системы моделирования и управления ресурсами, резервами и результатами сложных технических систем».

Библиографические ссылки

1. **Ларичев О.И., Петровский А.Б.** Системы поддержки принятия решений: современное состояние и перспективы развития. Итоги науки и техники. М.: ВИНИТИ, 1987. С. 131–165.
2. **Якимович Б.Я., Коршунов А.И., Кузнецов А.П.** Теоретические основы конструктивно-технологической сложности изделий и структур-стратегий производственных систем машиностроения: монография. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2007. 280 с.
3. **Корсаков В.С., Капустин Н.М., Темпельгоф К.Х., Лихтенберг Х.** Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении [под общ. ред. Н.М. Капустина] М.: Машиностроение, 1985. 304 с.
4. **Božek, Pavol.** New strategies of virtuality in programming of production technology / Pavol Božek, Jozef Mihok, Oto Barborák, Dušan Lahučký, Jaromíra Vaňová // In: Annals of DAAAM and Proceedings of DAAAM Symposium. Vienna: DAAAM International Vienna. 2009. Vol. 20. № 1. S. 403–404.
5. **Замятин К.И., Кузнецов А.П.** Выбор технологического обеспечения структур-стратегий производственной системы машиностроения (на примере детали типа «корпус») // Вестник ИЖГТУ. 2010. № 1. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2010. С. 19–22.



СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА

О.Г. Быковский, В.Р. Петренко, В.В. Пешков

2011 г. 336 с. ISBN 978-5-94275-557-7

Цена 500 р.

Систематизирована информация о свариваемости всех конструкционных сплавов, об электродных материалах и технических возможностях известных способов электрической и газовой сварки, резки, наплавки и напыления сталей и сплавов. Приведены параметры режима этих технологических процессов, технические характеристики современного оборудования для ручных и механизированных способов сварки, резки, наплавки и напыления при изготовлении металлоконструкций.

Для инженеров и специалистов, работающих в области сборочно-сварочного производства, а также студентов, обучающихся по специальности “Оборудование и технология сварочного производства” в учебных заведениях всех уровней аккредитации.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 621.91; 621.757

Е.Н. Малышев, канд. техн. наук, доц., С.А. Бысов

(Калужский филиал ГОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»)

m1@bmstu-kaluga.ru

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ И СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрена методика создания автоматизированных технологических систем на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов. Приведены примеры использования таких систем при производстве типовых изделий, показана их эффективность.

Ключевые слова: автоматизированная технологическая система, концентрация операций.

The creature method of the automatic technological systems based on concentration of the machining and assembly processes is considered. Application examples of such systems in type products manufacturing are adduced, its efficiency is shown.

Key words: the automatic technological system, concentration of operations.

В современном машиностроении приблизительно 35–40 % соединений деталей осуществляется по гладким цилиндрическим поверхностям, примерно треть из них – продольно-прессовые соединения, образованные запрессовкой различного вида втулок, которые выполняют роль подшипников скольжения, направляющих элементов, а также усиливают (армируют) несущие поверхности, улучшают ремонтопригодность изделия (являются сменными). Наиболее распространёнными представителями сборочных единиц с запрессованными втулками являются корпуса, кондукторы, рычаги и шатуны.

Деформации, возникающие при запрессовке, тем или иным образом изменяют форму и размеры исполнительных поверхностей соединённых деталей, в ряде случаев существенно по сравнению с изначальными значениями. Для достижения требуемой точности и устранения негативного влияния сборочной взаимосвязи, а также технологических погрешностей осуществляется механическая обработка деталей в сборе. Следовательно, традиционная технология производства таких изделий включает обработку базовых и сопрягаемых поверхностей деталей на металлорежущих станках, соединение деталей на прессах или другом сборочном оборудовании, обработку деталей в сборе на металлорежущих станках. При установке сборочной единицы на станок для соответствующей обработки деталей в сборе проявляются все погрешности, свойственные механической обработке, доминирующей из которых, как правило, оказывается погрешность установки. Время, связанное с перемещением деталей на сборку и возвратным перемещением сборочных единиц на станок для обработки в сборе, является непроизводительно затраченным и может достигать нескольких ча-

сов. Устраниить указанные недостатки традиционной технологии можно при выполнении процессов сборки и обработки в единой автоматизированной технологической системе (АТС).

Создание технологических систем должно основываться на комплексе функций, для реализации которых они предназначены. Выявление и чёткая формулировка таких функций позволяют определить состав АТС (подсистемы, элементы, компоненты), функции элементов АТС, связи и взаимодействие элементов в АТС.

Если создаваемая АТС должна реализовывать m различных технологических процессов, то множество функций F , реализуемых АТС, должно, как минимум, включать множество функций, потребных для реализации каждого технологического процесса:

$$F = \bigcup_{i=1}^m F_i,$$

где $F_i = \{f_{i k_i} \mid k_i = 1, \dots, n_i\}$ – множество функций, необходимых для реализации i -го технологического процесса.

В табл. 1 представлены функции, необходимые для реализации обрабатывающего и сборочного технологических процессов.

Функция $f_{i k_i}$ характеризуется множеством необходимых для её реализации параметров:

$$P_{i k_i} = \{p_{i k_i}^l \mid l = 1, \dots, l_{i k_i}\},$$

где p – параметр функции; $l_{i k_i}$ – количество параметров, характеризующих k_i -ю функцию i -го технологического процесса ($f_{i k_i}$).

Таблица 1

Функции технологической системы, необходимые для реализации обрабатывающего и сборочного технологических процессов

Множество функций, необходимых для реализации технологических процессов	
обрабатывающего F_1	сборочного F_2
Функция загрузки заготовок и выгрузки деталей f_{11}	Функция загрузки деталей и сборочных единиц (СЕ) и выгрузки узлов и СЕ f_{21}
Функция ориентирования и закрепления заготовок или приспособлений с заготовками в рабочей зоне перед началом обработки f_{12}	Функция ориентирования и фиксации относительного положения деталей и СЕ в рабочей зоне перед началом сопряжения f_{22}
Функция формообразования поверхностей f_{13}	Функция сопряжения деталей и сборочных единиц f_{23}
Функция смены отдельных инструментов или их комплектов f_{14}	Функция смены отдельных инструментов или их комплектов f_{24}
Функция доставки смазывающе-охлаждающих сред в зону обработки f_{15}	Функция обеспечения температурного воздействия на детали и СЕ в рабочей зоне перед началом сопряжения f_{25}
Функция удаления стружки и СОТС из рабочей зоны f_{16}	...
...	...
Функция текущего и окончательного контроля параметров и результатов обработки f_{1n1-1}	Функция текущего и окончательного контроля параметров и результатов сборки f_{2n2-1}
Функция управления работой отдельных подсистем, а также работой системы в целом f_{1n1}	Функция управления работой отдельных подсистем, а также работой системы в целом f_{2n2}

В табл. 2 представлены параметры, характеризующие функции формообразования поверхностей вращения (обработка точением) и сопряжения деталей по поверхностям вращения (запросировка).

Каждому параметру $p_{ik_i}^l$ соответствует множество значений:

$$Q_{ik_i}^l = \left\{ q_{ik_i}^j \mid j = 1, \dots, J_{ik_i}^l \right\}.$$

Необходимое множество параметров и требуемые величины их значений для каждой функции обеспечивают соответствующие подсистемы АТС, состоящие из отдельных элементов.

Основными функциями, для которых создаётся рассматриваемая АТС, являются функции формообразования и сборочная.

На рис. 1 показана подсистема, реализующая формообразующую функцию методом точения, состоящая из модулей: шпиндельного – 1, продольного – 2 и поперечного – 3 перемещений суппортов, базового – 4.

Для описания формообразующих возможностей может быть использован вариационный метод [1], который позволяет, используя в ка-

честве исходных данных координатный код формообразующей подсистемы, получить уравнения всех возможных обрабатываемых поверхностей.

Например, математическая модель формообразующей подсистемы, реализующей функцию

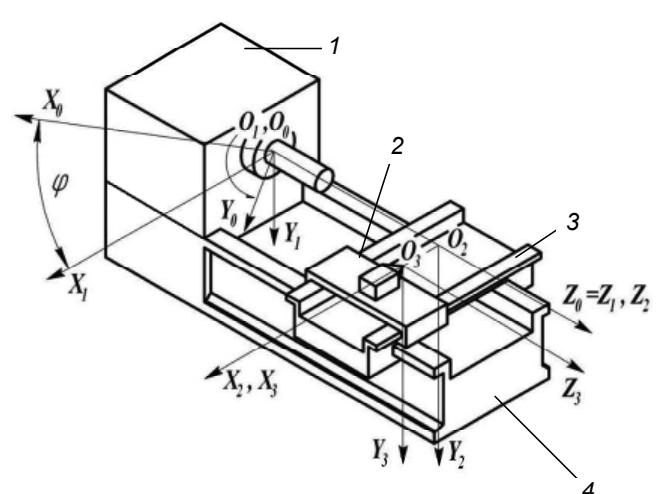


Рис. 1. Подсистема, реализующая функцию формообразования методом точения

Таблица 2

Параметры функций формообразования поверхностей вращения и сопряжения деталей по поверхностям вращения

Множество параметров функций	
формообразования поверхностей вращения $P_{1\text{фор}}$	сопряжения деталей по поверхностям вращения $P_{2\text{сб}}$
Вращение заготовки: частота вращения (скорость резания) $p_{1\text{фор}}^1 \left(p_{1\text{фор}}^v \right)$; момент вращения $p_{1\text{фор}}^2 \left(p_{1\text{фор}}^M \right)$...
Относительное продольное перемещение заготовки и инструмента: скорость (продольная подача) $p_{1\text{фор}}^3 \left(p_{1\text{фор}}^{S\text{пр}} \right)$; усилие продольной подачи $p_{1\text{фор}}^4 \left(p_{1\text{фор}}^{F\text{пр}} \right)$	Относительное продольное перемещение сопрягаемых компонентов: скорость (продольная подача) $p_{2\text{сб}}^1 \left(p_{2\text{сб}}^{S\text{пр}} \right)$; усилие продольной подачи $p_{2\text{сб}}^2 \left(p_{2\text{сб}}^{F\text{пр}} \right)$
Относительное поперечное перемещение заготовки и инструмента: скорость (поперечная подача) $p_{1\text{фор}}^5 \left(p_{1\text{фор}}^{S\text{поп}} \right)$; усилие поперечной подачи $p_{1\text{фор}}^6 \left(p_{1\text{фор}}^{F\text{поп}} \right)$...
Точность относительного положения и перемещения обрабатываемой поверхности заготовки и инструмента (исполнительных механизмов формообразующей подсистемы, несущих заготовку и инструмент) $p_{1\text{фор}}^7 \left(p_{1\text{фор}}^{TS} \right)$	точность относительного положения и перемещения сопрягаемых поверхностей (исполнительных механизмов сборочной подсистемы, несущих соединяемые компоненты) $p_{2\text{сб}}^3 \left(p_{2\text{сб}}^{TS} \right)$
...	...

формообразования поверхностей вращения методом точения, имеет вид

$$r_0 = A^6 A^3 A^1 r_3,$$

где r_0 и r_3 – радиус-векторы одной и той же точки, принадлежащей обрабатываемой поверхности в двух системах координат – заготовки S_0 и инструмента S_3 ; A^j – матрицы обобщённых относительных перемещений элементов (модулей) формообразующей подсистемы (табл. 3).

Для соединения деталей по сопрягаемым поверхностям необходимо совмещение координатных систем, принадлежащих сопрягаемым поверхностям соединяемых деталей. Для анализа процесса сборки постулируется равенство сопрягаемых поверхностей, конфигурация остальных частей сборочных компонентов несущественна. Сопряжение соединяемых деталей осуществляется при их относительном движении, т. е. движении сборки, реализуемом относительным перемещением несущих их устройств и механизмов, образующих по функциональному назначению

сборочную подсистему АТС. В зависимости от вида соединений это движение может быть поступательным, вращательным или комбинированным (сложным). Геометрическая интерпретация обобщённых перемещений сопрягаемых поверхностей, необходимых для сопряжений (совмещения их собственных систем координат), представлена на рис. 2.

Вариационный метод позволяет выявить, что поступательное перемещение соединяемых деталей вдоль оси Z может быть реализовано, если матрицей преобразования сборочной подсистемы является матрица обобщённых перемещений A^3 (см. табл. 3), описывающая соответствующее поступательное движение.

Сравнивая функцию формообразования поверхностей вращения, характеризуемую матрицей обобщённых перемещений $A^6 A^3 A^1$, и функцию сопряжения поверхностей по гладким цилиндрическим поверхностям вдоль оси вращения, характеризуемую матрицей обобщённых перемещений A^3 , можно заметить, что функция формообразо-

Таблица 3

Матрицы обобщённых перемещений

Вид движения	Матрицы A^j , моделирующие движения относительно оси		
	X	Y	Z
поступательное вдоль оси	$A^1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
вращательное вокруг оси	$A^4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^5 = \begin{pmatrix} \cos\psi & 0 & -\sin\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\psi & 0 & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^6 = \begin{pmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Примечание. Обобщённые координаты θ, ψ, φ – углы поворота относительно осей; x, y, z – линейные смещения вдоль осей; верхний индекс в обозначении матрицы j – номер обобщённой координаты (символ координатного кода).

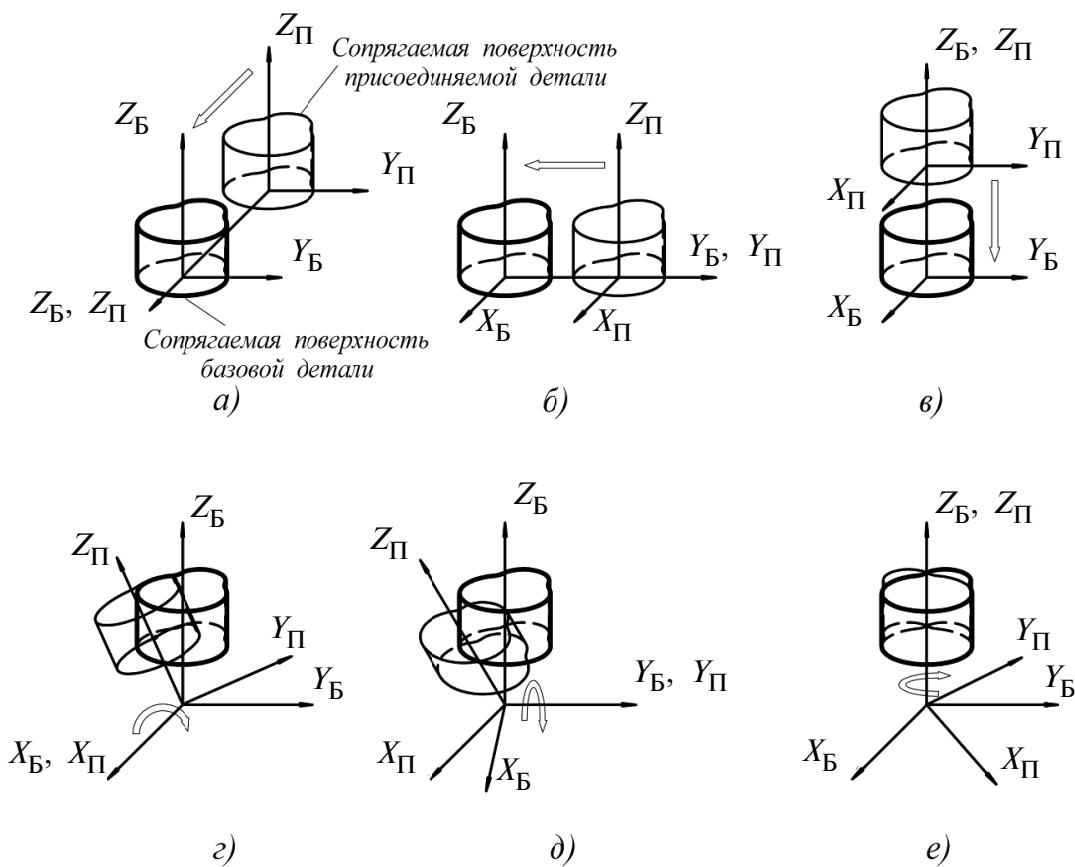


Рис. 2. Геометрическая интерпретация обобщённого перемещения сопрягаемых поверхностей, необходимых для сопряжения (совмещения их собственных систем координат):

а–в – поступательные перемещения вдоль осей X , Y и Z ; г–е – повороты вокруг осей X , Y и Z ;
 X_B, Y_B, Z_B – оси системы координат сопрягаемой поверхности базовой детали;
 X_Π, Y_Π, Z_Π – оси системы координат сопрягаемой поверхности присоединяемой детали

вания поверхностей вращения содержит функцию сопряжения поверхностей вдоль их оси вращения:

$$f_{2_{\text{сб}}} \subset f_{1_{\text{фор}}} \text{ (или } f_{2_3} \subset f_{l_3} \text{ (см. табл. 1))}. \quad (1)$$

Сравнивая множества $P_{1_{\text{фор}}}$ и $P_{2_{\text{сб}}}$ (табл. 2), отметим, что для параметров, связанных с процессами реализации функций обработки и сборки

$$P_{2_{\text{сб}}} \subset P_{1_{\text{фор}}}, \quad (2)$$

а именно: продольная подача исполнительных механизмов $p_{1_{\text{фор}}}^{\text{Sпр}} = p_{2_{\text{сб}}}^{\text{Sпр}}$; силовой характер продольной подачи $p_{1_{\text{фор}}}^{\text{Fпр}} = p_{2_{\text{сб}}}^{\text{Fпр}}$; точность относительного положения и перемещения исполнительных механизмов системы $p_{1_{\text{фор}}}^{\text{TS}} = p_{2_{\text{сб}}}^{\text{TS}}$.

На следующем этапе выявляется множество значений $Q_{1_{\text{фор}}}^l$ и $Q_{2_{\text{сб}}}^l$ указанных параметров, необходимых и достаточных для реализации процессов обработки и сборки.

Значения продольной подачи при обработке резанием в основном определяются требованиями к качеству обработанной поверхности. Так требуемое значение минутной подачи может составлять [2] от 25 мм/мин ($v = 80$ м/мин, $d = 100$ мм, $S = 0,1$ мм/об) до 310 мм/мин ($v = 100$ м/мин, $d = 30$ мм, $S = 0,3$ мм/об) и более.

Значение скорости запрессовки выбирается в зависимости от требуемой производительности и необходимой прочности соединения. Обычные скорости запрессовки от 60 до 600 мм/мин. Наибольшая прочность достигается при скоростях до 180 мм/мин [3].

Множество значений, которые могут принимать параметры $p_{1_{\text{фор}}}^{\text{Sпр}}$ и $p_{2_{\text{сб}}}^{\text{Sпр}}$, имеют значительную область пересечения $Q_{1_{\text{фор}}}^{\text{Sпр}} \cap Q_{2_{\text{сб}}}^{\text{Sпр}}$. Создавая технологическую систему, следует стремиться к тому, чтобы параметр $p^{\text{Sпр}}$ в АТС принимал значения из множества

$$Q^{\text{Sпр}} = Q_{1_{\text{фор}}}^{\text{Sпр}} \cup Q_{2_{\text{сб}}}^{\text{Sпр}}. \quad (3)$$

Множество значений сил, необходимых для запрессовки и продольного перемещения режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности, также имеют значительную область пересечения. Например, усилия 6 кН достаточно для запрессовки стальной втулки с наружным и внутренним диаметрами соответственно 50 и 40 мм в корпус с наружным диаметром 100 мм из алюминиевого сплава с величиной натяга $N = 50$ мкм, длиной сопряжения $l = 25$ мм. В то же время значение усилия 6 кН соответствует величине осевой

силы при черновом обтачивании заготовки из стали 45 проходным резцом с углом в плане 45°, при глубине резания 5,5 мм и величине подачи 0,7 мм/об.

Создавая технологическую систему, следует стремиться, чтобы параметр $p^{\text{Fпр}}$ в АТС принимал значения из множества

$$Q^{\text{Fпр}} = Q_{1_{\text{фор}}}^{\text{Fпр}} \cup Q_{2_{\text{сб}}}^{\text{Fпр}}. \quad (4)$$

Рассмотрим пример, сравнивая требования к точности реализации процессов обработки и сборки. При обработке резанием наружной цилиндрической поверхности с номинальным диаметром $d = 30$ мм точением по 7–8 квалитету точности отклонение перемещения инструмента относительно номинальной траектории не должно превышать ± 5 мкм [2]. В то же время при запрессовке втулки ($d_B = 30^{+0,045}$ мм) в отверстие диаметром $30_{-0,023}$ мм с заходными фасками на сопрягаемых поверхностях высотой 4_{-1} мм и углом $10^\circ \pm 2^\circ 30'$ допустимая начальная несоосность сопрягаемых поверхностей может достигать 0,3 мм [3].

Точность относительного перемещения исполнительных механизмов создаваемой технологической системы должна удовлетворять наиболее жёстким требованиям, свойственным различным технологическим процессам:

$$q_{\min Q^{\text{TS}}}^{\text{TS}} \left| Q^{\text{TS}} = Q_{1_{\text{фор}}}^{\text{TS}} \cup Q_{2_{\text{сб}}}^{\text{TS}} \right.. \quad (5)$$

Приведённые исследования позволили выявить функциональную и параметрическую общность процессов сборки и обработки и обосновать возможность реализации этих функций в одной подсистеме автоматизированной технологической системы, отвечающей условиям (1)–(5).

Аналогично можно выявить и однозначно определить остальные функции F_1 и F_2 .

Исходными данными для создания технологических систем на основе концентрации обработки и сборки являются рабочие чертежи и технические требования на изготавливаемые детали и сборочные единицы, программа выпуска изделий в год, базовые технологические процессы обработки и сборки.

Методика проектирования АТС на основе концентрации обработки и сборки включает следующие этапы:

исследование и анализ базовых технологических процессов для определения целесообразности создания АТС, реализующей комплекс обработки и сборки;

определение функций, необходимых для реализации обрабатывающего и сборочного технологических процессов;

определение параметров, определяющих каждую функцию обрабатывающего и сборочного технологических процессов;

нахождение диапазона (множества) значений, соответствующих каждому параметру функций обрабатывающего и сборочного технологических процессов;

выявление функций, параметров функций и значений параметров создаваемой АТС на основе

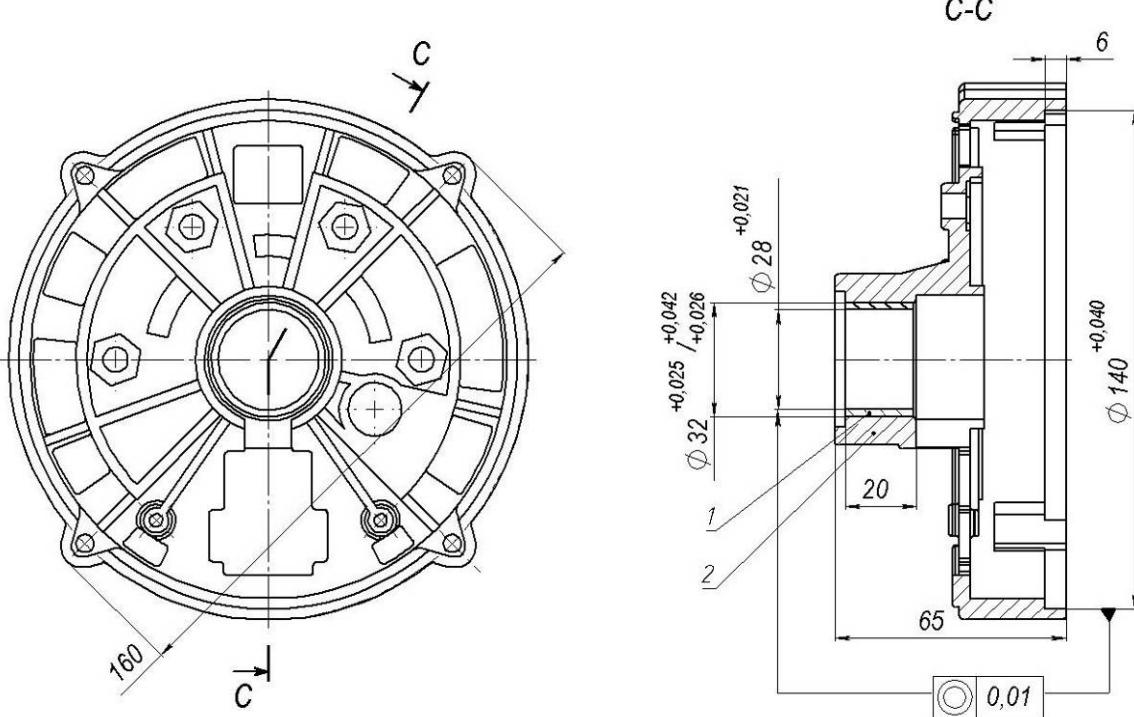
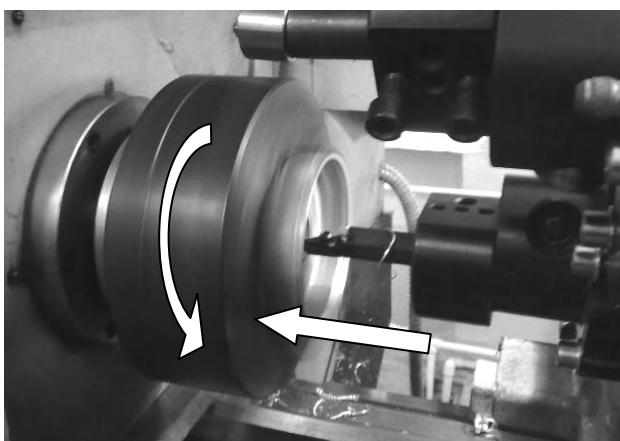
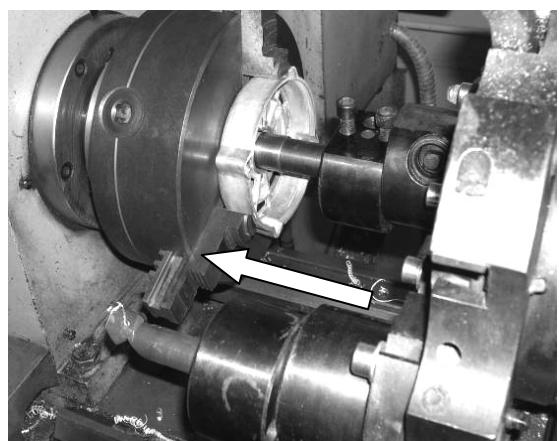


Рис. 3. Изделие «Крышка»:
1 – втулка; 2 – корпус крышки



a)



б)

Рис. 4. Реализация функций обработки и сборки на созданной АТС при изготовлении изделия «Крышка»:

a – растачивание отверстия в корпусе крышки под запрессовывание втулки (стрелками показаны формообразующие движения элементов технологической системы); б – запрессовка втулки в корпус крышки (стрелкой показаны сборочные движения элементов технологической системы)

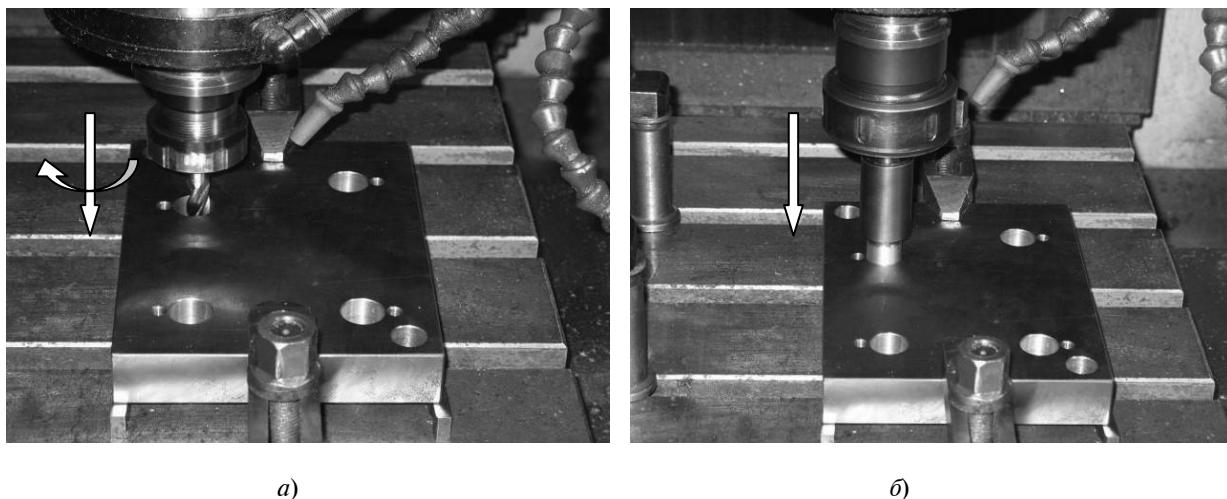


Рис. 5. Реализация функций обработки и сборки на созданной АТС при изготовлении «Плиты кондукторной»:

а – расфрезеровывание отверстия в корпусе плиты кондукторной под кондукторные втулки (стрелками показаны формообразующие движения элементов технологической системы); б – запрессовка кондукторных втулок в корпус плиты кондукторной (стрелкой показаны сборочные движения элементов технологической системы)

концентрации обрабатывающего и сборочного процессов;

определение состава АТС (подсистем, элементов, компонентов);

проектирование АТС на основе выбранной элементной базы или модернизации имеющихся на предприятии технологических систем.

В соответствии с представленной методикой созданы АТС, позволяющие реализовывать обрабатывающие и сборочные операции изготовления изделий «Крышка» на ОАО «Калугатрансмаш» (рис. 3) и «Плита кондукторная» на ОАО «Калужский инструментальный завод «ИНСЭЛ».

Созданная АТС на базе токарного станка с ЧПУ позволяет реализовать с помощью исполнительных узлов и механизмов необходимые функции обработки и сборки корпуса крышки и втулки с требуемыми значениями параметров (рис. 4).

АТС на базе вертикально-фрезерного станка с ЧПУ модели MV-66 способна реализовать с помощью исполнительных узлов и механизмов необходимые функции обработки и сборки «Плиты кондукторной» с требуемыми значениями параметров с одного установа корпуса плиты кондукторной (рис. 5).

Таким образом, проведённые исследования подтвердили эффективность АТС, создаваемых на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов. По сравнению с традиционными технологиями использование созданных АТС позволило снизить припуск с 1,0 до 0,1 мм на диаметр при обработке изделия «Крышка» в сборе устранением влияния погрешности многочленной переустановки базовой детали, сократить суммарное время изготовления «Крышки» на 57 %, «Плиты кондукторной» на 32 % при обеспечении требуемой точности размеров и относительного положения исполнительных поверхностей изготавливаемых изделий.

Библиографические ссылки

1. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986. 336 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (ред.) и др. М.: Машиностроение. Технология сборки в машиностроении. Т. III-5 / А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреев и др.; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. 2001. 640 с.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присыпаемых для публикации,
можно найти на сайте www.mashin.ru

УДК 004.021

Дворецкий С.И., д-р техн. наук, проф., Муратова Е.И., канд. хим. наук, доц.,

Толстых С.Г., канд. техн. наук, доц.

(ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»)

svetlanatolstyh@mail.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСЧЁТА И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЦЕПТУР МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена задача разработки автоматизированной информационной системы для расчёта и оптимизации рецептур многокомпонентных пищевых систем на основе объектно-ориентированного подхода к моделированию. Представлена объектная модель на языке UML для реализации алгоритма проектирования рецептур. Разработана программа «Multifaz» для расчёта и оптимизации рецептур пищевых продуктов, приведён пример расчёта рецептуры кондитерских изделий функционального назначения.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, объектно-ориентированный подход, пищевые системы, рецептура, язык UML.

The automatic information system task development for formulation calculation and optimization of the multicomponent food systems on the basis of the object-oriented approach to modelling is considered. The objective model in UML language for realization of the formulation planning algorithm is presented. The program «Multifaz» for formulation calculation and optimization of the foodstuff is created. The calculation example of a functional purpose confectionery formulation is adduced.

Key words: automatic informational system, object-oriented approach, food systems, formulation, UML language.

Введение. Постоянное обновление ассортимента пищевых продуктов, растущая потребность в продуктах функционального назначения, разнообразие предложений на рынке сырьевых ингредиентов актуализирует вопросы проектирования рецептур новых видов продуктов, а также оперативной коррекции и перерасчёта унифицированных рецептур с учётом колебаний параметров сырья. Проектирование рецептур включает в себя подбор рецептурных ингредиентов для всех стадий изготовления пищевой продукции и выбор альтернативных вариантов сырьевых компонентов. При проектировании рецептур рассчитываются расходные нормы сырья, определяются общие потери полуфабрикатов и, в конечном итоге, рассчитываются себестоимость изделия, а также его качественные показатели [1].

Задача моделирования и проектирования рецептур многокомпонентных пищевых систем может рассматриваться как самостоятельная подсистема при системном анализе и оптимизации технологических линий производства продуктов питания. Данная задача может также выступать в роли подзадачи при выборе оптимального ассортимента пищевых продуктов, выпускаемых на предприятии в рамках некоторого временного интервала, или для определения оптимальной загрузки технологических линий с параллельно работающим оборудованием.

Существующие специализированные пакеты программ для проектирования рецептур продуктов питания делятся на два класса: программы в составе автоматизированных систем управления производством и специализированные программы, предназначенные для выполнения разовых расчётов применительно к определённым видам продовольственных продуктов. Для специализированных пакетов программ, работающих в составе математического обеспечения автоматизированных систем управления производством, характерна чрезмерно высокая стоимость; их внедрение предъявляет повышенные требования к уровню компьютерной подготовки персонала пищевых предприятий. К недостаткам специализированных программ для проектирования рецептур можно отнести ограниченность сведений по альтернативным сырьевым ингредиентам, привязку к офисным программам общего назначения и конкретным видам продовольственных продуктов и недостаточно высокий уровень защиты интеллектуальной собственности. Общим недостатком существующих программных продуктов, применяемых для проектирования рецептур, является отсутствие подсистемы (модуля) оптимизации рецептуры по совокупности критериев пищевой, биологической и энергетической ценности.

Общая характеристика АИС для расчёта и оптимизации рецептур многокомпонентных пищевых систем. АИС состоит из трёх модулей: информационного, расчётного и оптимизационного. Информационный модуль представляет собой совокупность данных компонентов и полуфабрикатов рецептуры. В расчёмном модуле осуществляется выбор и запись компонентов базы данных информационного модуля, производятся расчёты однофазных и многофазных рецептур, а также пищевой и энергетической ценности. В модуле оптимизации осуществляется подбор компонентов рецептуры по пищевой и энергетической ценности в условиях действия ограничений на себестоимость. АИС обеспечивает: возможность сопряжения с базой данных по пищевым ингредиентам; эволюцию процедурной части базы знаний; оптимизацию рецептур по пищевой ценности компонентов при ограничениях на себестоимость продовольственных продуктов; формирование результатов расчёта рецептур многокомпонентных пищевых систем в форме стандартных отчётов.

Преимуществами предлагаемой АИС являются: невысокая стоимость, доступная большинству средних и малых предприятий; возможность включения в состав рецептур как простых (однофазных), так и сложных (многофазных) продуктов, среди которых могут быть и конечные полуфабрикаты предприятий-поставщиков, а также полуфабрикаты собственного производства; удобный интерфейс; возможность оптимизации рецептур с учётом технологических особенностей конкретного пищевого предприятия [2, 3].

Алгоритмическое и программное обеспечение АИС для расчёта и оптимизации рецептур многокомпонентных пищевых систем базируется на

объектно-ориентированном представлении знаний. Основным достоинством объектно-ориентированного представления является возможность наследования свойств и методов совместно с добавлением новых расчётных формул, учитывающих расширение сырьевого ассортимента, особенности производства, технико-экономические показатели процессов, протекающих в аппаратах технологической линии. В частности, может решаться задача проектирования пищевого продукта с заданными характеристиками из множества альтернатив ингредиентного состава с сохранением качественных показателей на заданном уровне с допустимым (или минимальным) уровнем себестоимости. Эта задача формулируется как структурно-интервальная задача решения системы неравенств, при этом ширина интервалов зависит от ширины допуска потерь пищевого производства.

Отличительной особенностью объектно-ориентированного подхода к проектированию рецептур многокомпонентных пищевых систем является представление рецептуры в виде иерархической структуры (рис. 1). Каждая из вершин иерархической структуры представляет собой объект (готовый продукт, полуфабрикат, сырье). Каждый уровень иерархии соответствует определённой стадии изготовления пищевого продукта и может иметь своё, индивидуальное, число вершин, расположенных ниже по иерархии [4].

На рис. 1 показана трёхуровневая иерархия расчёта рецептур, где первый индекс – номер уровня, второй – номер компонента рецептурной смеси. Если на том или ином уровне рецептуры используются несколько полуфабрикатов, их первый индекс становится составным и обозначается

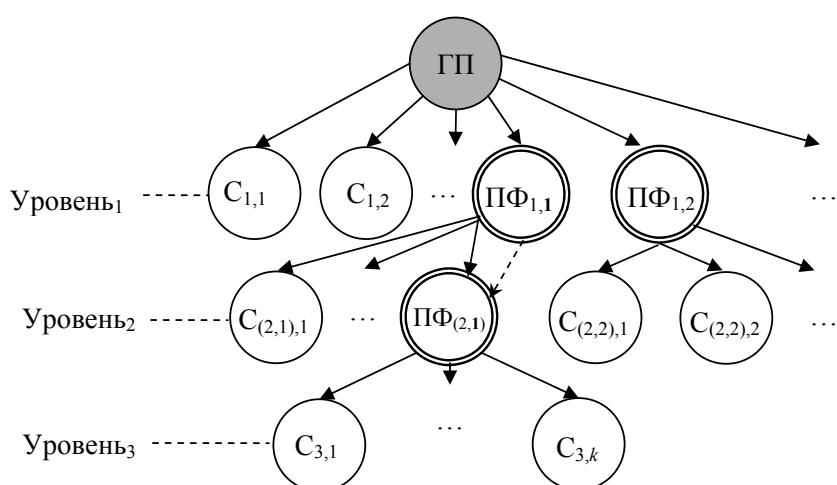


Рис. 1. Иерархическая структура рецептуры пищевого продукта:
ГП – готовый продукт; С – сырье; ПФ – полуфабрикат

в виде списка (i, j) , где i – номер уровня; j – порядковый номер полуфабриката на i -том уровне. Этот составной индекс используется ниже по иерархии (показано штрихованной стрелкой). Алгоритм расчёта многофазной рецептуры пищевого продукта начинается с расчёта последнего уровня в наиболее длинной ветви иерархической структуры расчёта. На рис. 1 расчёт рецептуры начинается с полуфабриката ПФ(2,1), так как длина пути по иерархии расчёта до компонентов этого полуфабриката наибольшая. Исходными данными для расчёта последнего уровня являются: расход на загрузку всех видов сырья и готовых полуфабрикатов в натуре H_n^3 ; потери сухих веществ P^c ; заданное количество готовой продукции H_B^T , равное 1 т.

Алгоритм проектирования многокомпонентных пищевых систем. При проектировании рецептур пищевых продуктов обычно определяют расход сырья на 1 т каждого полуфабриката и находят количество каждого вида сырья на часть полуфабриката, расходуемого на изготовление 1 т готового изделия. В заключение рассчитывают суммарное количество сырья на 1 т готового изделия с учётом предельно-допустимых потерь сухого вещества. Форма записи рецептуры представляет собой набор унифицированных таблиц, в которых производится расчёт расхода компонентов для каждой стадии производства продовольственного продукта. Набор таблиц снабжается единой заключительной таблицей сводного расхода сырья на изделие в целом.

Алгоритм расчёта состоит в следующем [4].

Шаг 1. Определяется расход компонентов на загрузку в сухих веществах по формуле

$$C_n^3 = \frac{H_n^3 \cdot S_n}{100}.$$

Шаг 2. Рассчитывается итог расхода сырья на загрузку в сухих веществах

$$C_u^3 = \sum_{i=1}^n C_i^3.$$

Шаг 3. Рассчитывается итог расхода сырья на загрузку в натуральном выражении

$$H_u^3 = \sum_{i=1}^n H_i^3.$$

Шаг 4. Рассчитывается содержание сухих веществ в готовом изделии

$$S_r = \frac{C_u^3 \cdot 100}{H_u^3}.$$

Шаг 5. Находится выход готового изделия в сухих веществах

$$C_e^T = \frac{H_e^T \cdot S_e}{100}.$$

Шаг 6. Определяется расход всех компонентов в сухих веществах на приготовление одной тонны готовых изделий

$$C_u^T = \frac{C_e^T \cdot 100}{100 - P^c}.$$

Шаг 7. Находится коэффициент пересчёта $K^h = \frac{C_u^T}{C_u^3}$, который показывает, во сколько раз следует увеличить количество сырья в сухих веществах, чтобы получить расход сырья на 1 т готового изделия (в случае однофазной рецептуры) или 1 т полупродукта, в противном случае.

Шаг 8. С использованием коэффициента пересчёта K_h получается расход всех компонентов в сухих веществах на приготовление 1 т готового изделия $C_n^T = C_n^3 \cdot K^h$.

Шаг 9. По найденным значениям C_n^T получается расход всех компонентов в натуре на приготовление одной тонны готового изделия

$$H_n^T = \frac{C_n^T \cdot 100}{S_n}.$$

Шаг 10. Рассчитывается итог расхода сырья на заданное количество готовой продукции в натуральном выражении

$$H_u^T = \sum_{i=1}^n H_i^T.$$

Шаг 11. С точностью до двух знаков проверяется правильность расчёта сопоставлением суммы расхода всех компонентов в сухих веществах с ранее полученным итогом затрат C_u^T по формуле $\Pi_c^T = \sum_{i=1}^n C_i^T$. Если совпадения не обнаружено, находится разность между C_u^T и Π_c^T , а затем корректируется второй знак путём прибавления найденной разности к расходу сырьевого ингредиента, доминирующего в рецептуре.

Итоги расчёта представляются в виде унифицированной таблицы рецептуры (табл.1) [5], которая содержит три расчётных графы: расход сырья на загрузку, расход сырья на 1 т фазы, расход сырья на 1 т готовой продукции [1]. Исходные данные для расчёта заносятся в графы 1–3 вышеуказанной таблицы. Перечень компонентов сырья и готовых полуфабрикатов отображается в

графе 1. Содержание сухих веществ в сырье и готовых полуфабрикатах S_n заносится в графу 2. Расход на загрузку всех видов сырья и готовых полуфабрикатов в натуральном выражении H^3 заносится в графу 3; потери сухого вещества P^c – в соответствующую строку графы 1. В графах 5–8 таблицы приведены расчётные формулы, цифры в правом верхнем углу ячеек таблицы 1), 2) и т. д. показывают порядок расчёта. Стока «Выход» граф 5 и 6 (H_e^T и C_e^T соответственно) заполняется на основании ранее полученных расчётных данных (H_i^T и C_i^T) соответствующего полуфабриката. Таким образом, специфика расчёта рецептур многокомпонентных пищевых систем состоит в том, что все расчётные данные связаны между собой. Так, расчётное значение расходных норм полуфабриката для получения 1 т готовой продукции используется в дальнейшем как заданный выход соответствующего полуфабриката. Основным достоинством объектно-ориентированного представления является возможность наследования свойств и методов совместно с добавлением новых расчётных формул, учитывающих расширение сырьевого ассортимента, особенно-

сти производства, технико-экономические показатели процессов, протекающих в аппаратах технологической линии. В частности, может решаться задача проектирования пищевого продукта с заданными характеристиками из множества альтернатив ингредиентного состава с сохранением качественных показателей на заданном уровне с допустимым (или минимальным) уровнем себестоимости.

Эта задача формализуется как структурно-интервальная задача решения системы неравенств, при этом ширина интервалов зависит от ширины допуска потерь пищевого производства.

UML-модель расчёта рецептур. Для проектирования рецептур кондитерских изделий была разработана объектная модель на языке UML, для которой диаграмма «последовательности» представлена на рис. 2. В состав модели входят следующие блоки: «Расчётный модуль», «Проверочный модуль», «Первый расчётный триггер», «Второй расчётный триггер» и «Второй расчётный триггер» (рис. 2).

Триггеры в терминологии языка UML имеют два состояния: «Расчёт завершён» и «Расчёт не

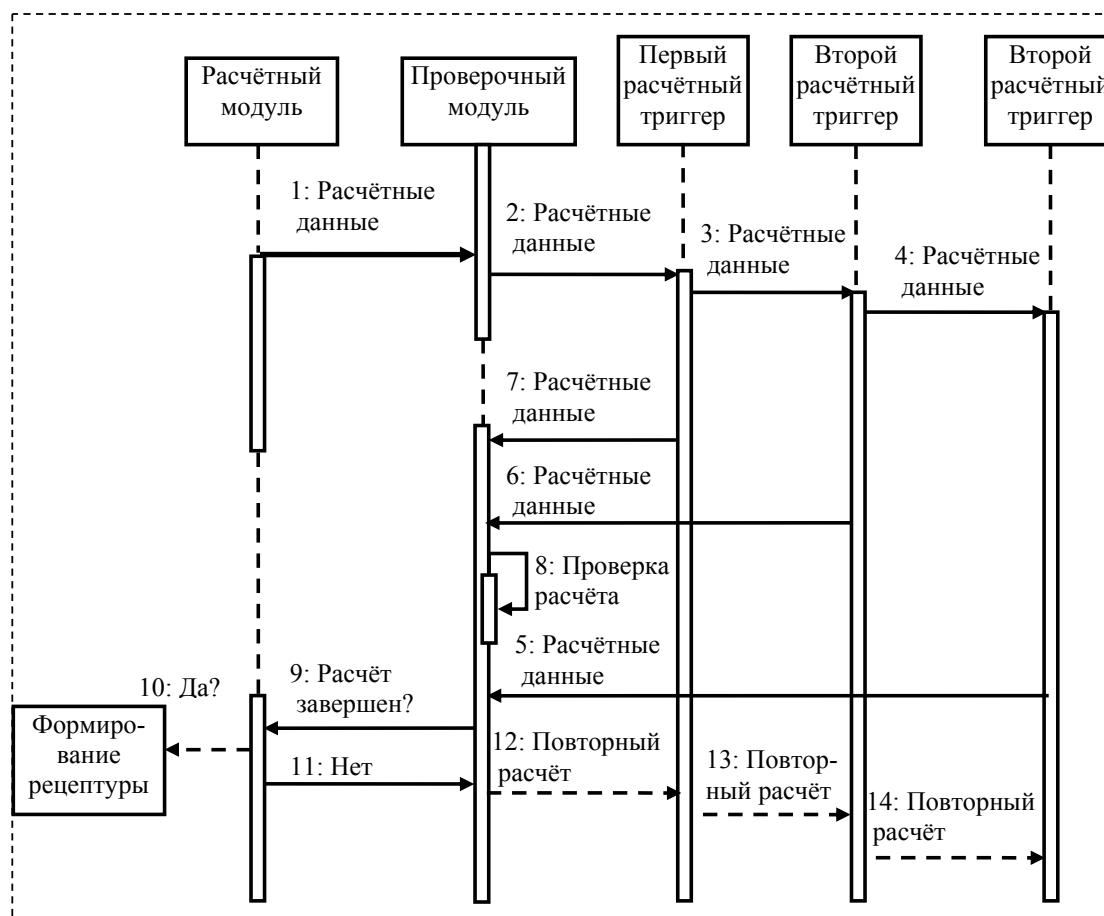


Рис. 2. UML диаграмма «последовательности»

Таблица 1

Обобщённое представление данных для расчёта рецептуры

		Расход сырья, кг				
		На загрузку		На 1 т фазы		На фазу для 1 т готовой продукции в сухих веществах
		в натуре	в сухих веществах	в натуре	в сухих веществах	в натуре в сухих веществах
1	2	3	4	5	6	7
Сырьё или полуфабрикат 1	S_1	H_1^3	$C_1^3 = \frac{H_1^3 \cdot S_1}{100}$	$H_1^T = \frac{C_1^T \cdot 100}{S_1}$	$C_1^T = C_1^3 \cdot K_1^u$	$H_1^\Phi = H_1^3 \cdot K_1^H$
Сырьё или полуфабрикат 2	S_2	H_2^3	$C_2^3 = \frac{H_2^3 \cdot S_2}{100}$	$H_2^T = \frac{C_2^T \cdot 100}{S_2}$	$C_2^T = C_2^3 \cdot K_1^T$	$H_2^\Phi = H_2^3 \cdot K_2^u$
...
Сырьё или полуфабрикат n	S_n	H_n^3	$C_n^3 = \frac{H_n^3 \cdot S_n}{100}$	$H_n^T = \frac{C_n^T \cdot 100}{S_n}$	$C_n^T = C_n^3 \cdot K_1^u$	$H_n^\Phi = H_n^3 \cdot K_2^u$
Итого: сырьё и полуфабрикаты		$H_u^3 = \sum_{i=1}^n H_i^3$	$C_u^3 = \sum_{i=1}^n C_i^3$	$H_u^T = \sum_{i=1}^n H_i^T$	$C_u^T = \frac{C_u^3 \cdot 100}{100 - P^c}$	$H_u^\Phi = \sum_{i=1}^n H_i^\Phi$
Выход готового изделия или полуфабриката	$S_e = \frac{C_u^3 \cdot 100}{H_u^3}$	$H_e^3 = \frac{C_e^3 \cdot 100}{S_e}$	$C_e^3 = \frac{C_u^3(100 - P^c)}{100}$	H_e^T	C_e^T	$H_e^\Phi = \frac{C_e^3 \cdot 100}{S_e}$
Потери сухого вещества	P^c				$\Pi_c^T = \sum_{i=1}^n C_i^T$	$\Pi_c^\Phi = \sum_{i=1}^n C_i^\Phi$
Коэффициенты пересчёта 1, 2						

завершён». Созданные три расчётных триггера осуществляют соответственно расчёт расхода компонентов на пофазную загрузку, на 1 т полуфабриката и на 1 т готовой продукции, обеспечивая тем самым заполнение расчётных граф унифицированных таблиц. Расчёт считается завершенным, если все величины покомпонентных граф перешли из состояния *Nan* («Not a number») в состояние *Number*. Вычисления производятся с регулируемой точностью: пофазная загрузка рассчитывается с точностью до двух знаков после запятой (в соответствии с особенностями политики дозирования) и в исключительных случаях – до трёх (например, для вкусоарomaticких ингредиентов). Графы 2) и 3) рассчитываются в режиме с фиксированной запятой и точностью 500 знаков с последующим округлением до двух знаков при выводе результатов на печать.

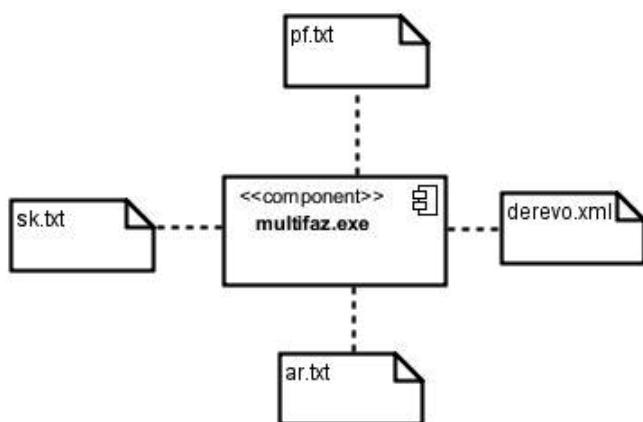
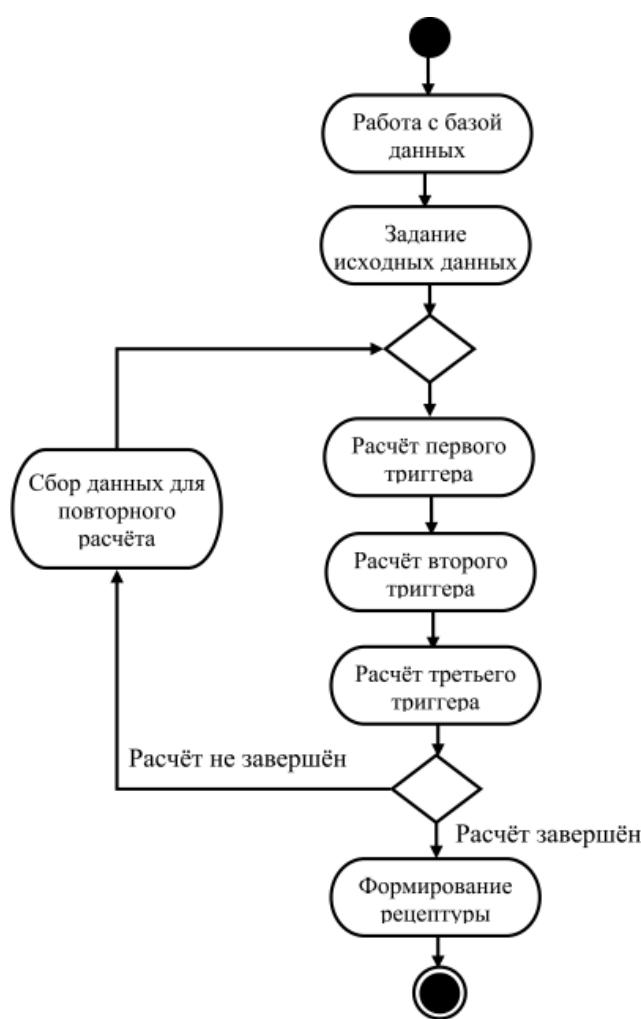
Данные из блока «Расчётный модуль» готового изделия поступают во вспомогательный «Проверочный модуль», в котором проверяется готовность триггеров: если все триггеры переведены в состояние «Расчёт закончен», управление передаётся финишному модулю. В противном случае (когда хотя бы один триггер остаётся в состоянии «Расчёт не закончен») вычислительный поток направляется последовательно в расчётные триггеры с учётом специфики конкретной иерархии рецептуры. Далее из блока «Расчётный триггер» полученные данные поступают в блок «Проверочный модуль», где рекурсивно осуществляются расчёт сводной таблицы рецептуры и проверка баланса.

В результате проверки может выясниться, что в сводной таблице присутствуют пустые поля (состояние *Nan*), и тогда работа триггеров возобновляется. Итерационный характер расчётов отражает диаграмма «деятельности» языка UML (рис. 3).

На рис. 4 представлена диаграмма «компонентов», на которой показаны элементы физической реализации системы. На диаграмме показаны файлы, которые являются частью развернутой системы, построенной вокруг программы *multifaz.exe*. Файлы *ar.txt*, *pf.txt*, *sk.txt* являются текстовыми файлами и содержат сведения о рецептурных ингредиентах, входящих в состав рецептур конкретного предприятия. Файл *derevo.xml* предназначен для хранения рецептуры в формате XML.

Программная реализация UML-диаграммы «компонентов» основана на использовании библиотеки численных методов и высокоточных вычислений Matiss [6].

Пример расчёта рецептуры с использованием программы «Multifaz». В качестве примера работы АИС для расчёта и оптимизации рецептур рассмотрим расчёт рецептуры вафельных изделий функционального назначения.



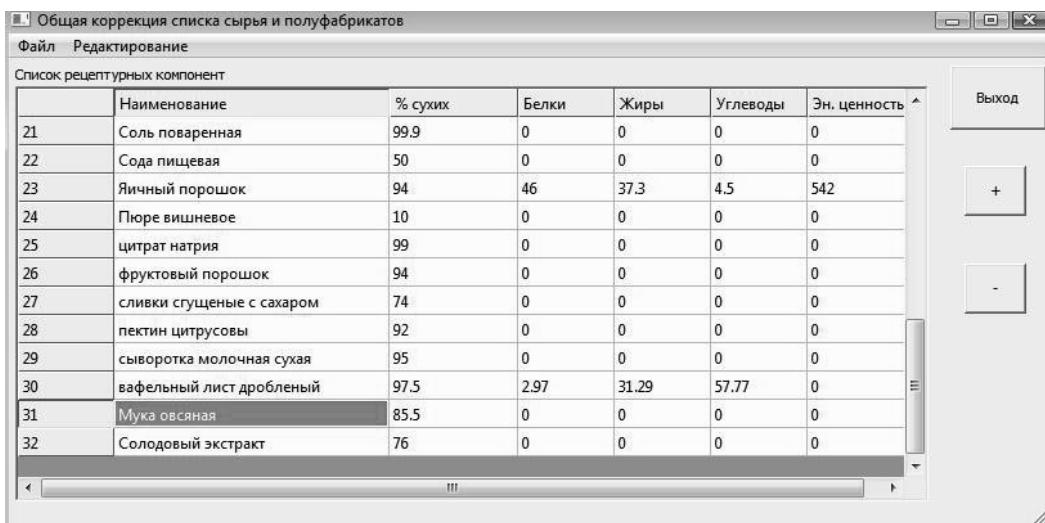


Рис. 5. Добавление нового сырья в список рецептурных компонентов

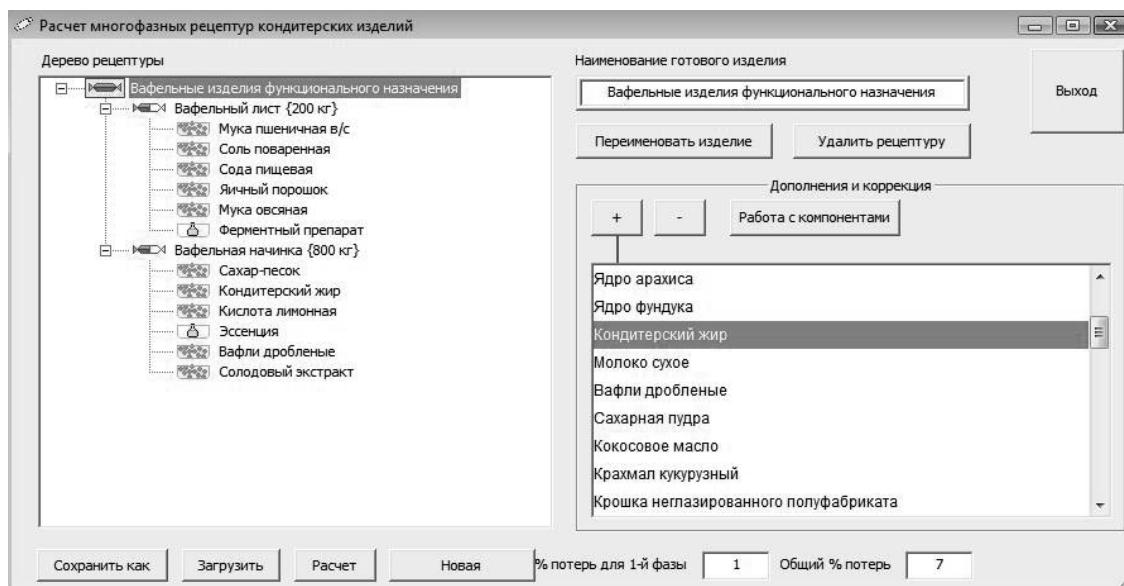


Рис. 6. Общий вид дерева рецептуры вафельных изделий функционального назначения

При запуске программы «Multifaz» открывается окно, в правой части которого перечислены сырьевые компоненты, а в левой – окно иерархии рецептуры. В строке «Наименование готового изделия» вводим название готового продукта «Вафельные изделия функционального назначения». Задаём общие потери и потери по стадиям производства.

Для построения иерархии рецептуры из списка сырьевых компонентов выбираем полуфабрикаты, из которых состоит готовое изделие (вафельный лист и начинка), а также задаём их количество на загрузку. Составляем рецептуру каждого полуфабриката, выбирая из правой час-

ти окна рецептурные компоненты и нажимая кнопку «+» для добавления их в иерархию рецептуры. Для обогащения вафель добавляем овсяную муку в рецептуру вафельного листа и солодовый экстракт в рецептуру начинки. Для этого, нажав кнопку «Работа с компонентами» и выбрав пункт «Сыревые компоненты», добавляем в список новые рецептурные компоненты, указывая содержание сухих веществ (рис. 5). Затем задаём загрузочную характеристику каждого компонента.

Общий вид иерархии рецептуры вафельных изделий функционального назначения изображен на рис. 6.

Таблица 2

Сводная рецептура вафельных изделий функционального назначения

Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ	Сводная рецептура			
		Расход сырья, кг			
		по сумме полуфабрикатов для 1 т незавёрнутой продукции	на 1 т готовой продукции без завёрточных материалов	в натуре	в сухих веществах
Мука пшеничная в/с	85,50	188,48	161,16	192,20	164,33
Соль поваренная	99,90	1,35	1,35	1,38	1,38
Сода пищевая	50,00	1,36	0,68	1,39	0,69
Яичный порошок	94,00	0,62	0,58	0,63	0,59
Мука овсяная	85,50	80,78	69,07	82,37	70,43
Ферментный препарат	0,00	0,08	0,00	0,08	0,00
Сахар-песок	99,85	397,56	396,97	405,40	404,79
Кондитерский жир	99,70	294,69	293,81	300,50	299,60
Кислота лимонная	91,20	3,61	3,29	3,68	3,35
Эссенция	0,00	2,18	0,00	2,22	0,00
Вафли дроблённые	97,50	101,24	98,71	103,23	100,65
Солодовый экстракт	76,00	24,68	18,76	25,17	19,13
Итого		1096,63	1044,5	1118,25	1064,94
Выход	99,04	1000,00	990,40	1000,00	990,40
Потери	7,00				1064,95
	1,0196923				

Нажимаем кнопку «Расчёт» и получаем расход сырья для приготовления полуфабрикатов в соответствии с данной рецептурой, а также сводную рецептуру вафельных изделий функционального назначения (табл. 2).

Заключение. Разработанная автоматизированная информационная система, основанная на использовании объектно-ориентированного представления информации, предназначена для оперативного расчёта и оптимизации рецептур в условиях вариабельности сырья. Она может применяться для расчётов унифицированных рецептур с учётом возможности взаимозаменяемости сырья и для проектирования рецептур продуктов питания нового поколения. В настоящее время программное обеспечение для расчёта рецептур кондитерских изделий прошло тестирование, а программный модуль для оптимизации рецептур по пищевой и энергетической ценности находится в стадии разработки.

Библиографические ссылки

1. Олейникова А.Я. Технологические расчеты при производстве кондитерских изделий / А.Я. Олейнико-

ва, Г.О. Магомедов, И.В. Плотникова. СПб.: Издательство РАПП, 2008. 240 с.

2. Донских Н.В. Разработка алгоритмического и программного обеспечения для расчета рецептур / Н.В. Донских, Е.И. Муратова, С.Г. Толстых, С.С. Толстых // «Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности (приоритеты развития)»: Материалы III Междунар. науч.-технич. конф. Воронеж. 2009. Т. 2. С. 368–372.

3. А.с. о регистрации программ для ЭВМ РФ № 2009616582. Расчет однофазных рецептур кондитерских изделий. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.11.2009, заявка № 2009614825 от 4.09.2009.

4. Муратова Е.И. К решению задачи разработки оптимального состава сложных многокомпонентных пищевых систем / Е.И. Муратова, С.С. Толстых, С.Г. Толстых, Д.В. Леонов // Сб. тр. 23-й Междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-23). Белгород. 2010. С. 56–59.

5. Муратова Е.И. Проектирование рецептур кондитерских изделий: метод. указ./ Е.И. Муратова, С.Г. Толстых. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 32 с.

6. А.с. о регистрации программ для ЭВМ РФ № 2011612174. Библиотека Matiss. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 15.03.2011 г., заявка № 2011610412 от 25.01.2011.



УДК 65.011.56:7.042

С.О. Никифоров, д-р техн. наук, проф.,

О.С. Никифорова (Бурятский научный центр СО РАН, г. Улан-Удэ),

Б.С. Никифоров, канд. техн. наук (Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ)

olyaandsemen@mail.ru

МАШИННЫЕ ДИЗАЙН-ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО И ХУДОЖЕСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОТОТИПИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ

Предложен комплексный метод решения задачи технического и художественного моделирования при проектировании и производстве изделий на основе машинных дизайн-технологий (компьютерных и мехатронных). Представлены алгоритмы автоматизированного проектирования и иерархические процедуры формирования твёрдотельной модели изделия и, при необходимости, его орнаментального оформления на основе CALS-технологий и последующего мехатронного воспроизведения с жёсткой привязкой к типовому жизненному циклу изделий.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, прототипированное моделирование, машинные дизайн-технологии, орнамент, мехатронное воспроизведение, жизненный цикл, иерархия.

The task decision complex method of the technical and artistic modeling is proposed for product designing and production from a machine design-technology (computer and mechatronic). Algorithms of the automatic designing and formation hierarchical procedures of the product solid-state model and, at necessity, its ornamental decorative design on the basis of CALS-technologies and the subsequent mechatronics reproduction with a rigid linkage to the products typical life cycle of products are presented.

Key words: the automatic designing, prototype modeling, machine design-technology, ornament, mechatronics reproduction, life cycle, hierarchy.

Введение. При дизайнерском проектировании современных изделий и их изготовлении необходим комплексный подход, позволяющий решить вопросы соответствующего функционально-структурного синтеза по принципу целенаправленного формирования алгоритмов и средств реализации процессов управления при проектировании и создании изделий. При этом необходимо чётко различать технические характеристики используемых средств и применяемые вычислительные технологии.

На основе традиционных средств и подходов при создании изделий достичь качественно нового уровня технологического оборудования практически нереально. Поэтому ожидается резкий рост отношения «качество – цена» для нетрадиционных типов производств, включая дизайн изделий. Рост этого отношения привёл к переходу от электроники к программно-математическому обеспечению (ПМО) как исходной среды принятия решения. Исходя из того, что средства принятия решения будут меняться, в работе [1] при-

ведено расширенное толкование термина «мехатроника»: «Мехатроника – это средства принятия схемных решений для функционирования физических систем».

Технические характеристики включают детальные характеристики отношений между управляемым ПМО и технической системой.

Вычислительные технологии – это комбинация вычислительных аппаратных средств и системного ПМО, позволяющая получить требуемые характеристики создаваемого изделия в целом.

Таким образом, технические характеристики описывают работу системы (изделия), а вычислительные определяют её эксплуатационные качества.

Такой подход обеспечивает все циклы создания изделий:

концептуальное проектирование и дизайн изделия;

моделирование;

синтез алгоритмов и средств аппаратуры;

разработку технической и конструкторской документации;
конструктивную реализацию;
разработку технологического процесса и т. д.

Этот подход должен быть связан с понятием типового жизненного цикла изготавляемых изделий (ЖЦИ), представляющего собой последовательность этапов набора необходимых мероприятий от выяснения необходимости и (или) целесообразности создания изделия до ликвидации, утилизации.

Новым в современной концепции качества является желание как можно шире охватить и представить в виде единой системы все этапы деятельности, относящейся к проектируемым и выпускаемым изделиям [2]. В соответствии с международными стандартами ISO 9000 принято выделять одиннадцать этапов ЖЦИ (см. таблицу). Последовательные этапы ЖЦИ обеспечиваются различными группами работников.

Стандарты ISO 9000 являются модельными. Стандарт ISO 9001 относится к комплексу *проектирование – разработка – производство – монтаж – обслуживание*, стандарт ISO 9002 – *производство – монтаж – обслуживание*, стандарт ISO 9003 – *контроль и испытания*.

Для обеспечения качества ЖЦИ требуется полностью отражать потребности клиента. При этом подразумевается необходимость контроля в том, что при предоставлении документальных доказательств реализуется общее руководство качеством. Уверенность в соответствии продукции уста-

новленным требованиям достигается возможностями организации в области проектирования, разработки, производства, монтажа и обслуживания.

Предлагаемый подход к проектированию и дальнейшей работе с создаваемым изделием должен быть связан с CALS-технологиями [3], которые реализуются при использовании компьютерных технологий CAD – CAPP – CAE – CAM (проектирование – расчёты – технологическая подготовка производства – производство), где важна жёсткая привязка к ЖЦИ. Исходной является структура изделия, представляющая описание отношений между компонентами изделия [3]. Обычно структуру изображают в виде графа, вершинами которого являются компоненты, а ребрами – отношения [2,3].

Алгоритм машинного дизайнерского прототипирования. Проектируемый дизайнером объект представляет собой некую пространственно организованную сущность средствами технического и художественного дизайна, которая при необходимости может быть овеществлена хотя бы в одном экземпляре, например средствами быстрого прототипирования изделий [4], что позволяет быстро реагировать на конъюнктуру и потребности рынка.

На рис.1 представлена трёхуровневая иерархическая процедура машинной дизайн-технологии проектирования, где на каждом иерархическом уровне используются свои понятия и системы элементов. Процедура включает предпроектную

Наименование этапа жизненного цикла изделий	Подразделения
Маркетинг, поиски рынков, анализ состояния рынков	Отделы технической информации, маркетинга и внешних связей
Разработка технических требований, проектирование изделий	Руководители всех уровней, конструкторские отделы, нормоконтроль
Материально-техническое обеспечение производства	Отдел технического снабжения, заготовительные производства, службы организации
Технологическая подготовка производства, разработка технологических процессов	Технологические отделы, нормоконтроль
Процессы изготовления	Производственные подразделения (цехи)
Проведение контрольных, приёмосдаточных и иных испытаний	Отдел технического контроля, метрологический отдел, отдел испытаний
Упаковка, маркировка и хранение произведённых изделий	Тарное производство, отдел сбыта
Распределение, транспортирование и реализация изделий	Транспортные подразделения
Монтаж и эксплуатация	Монтажные подразделения или организации, наладчики
Техническая помощь в обслуживании	Бюро обслуживания и консалтинга
Утилизация после окончания срока использования или эксплуатации	Специализированные организации вторсырья

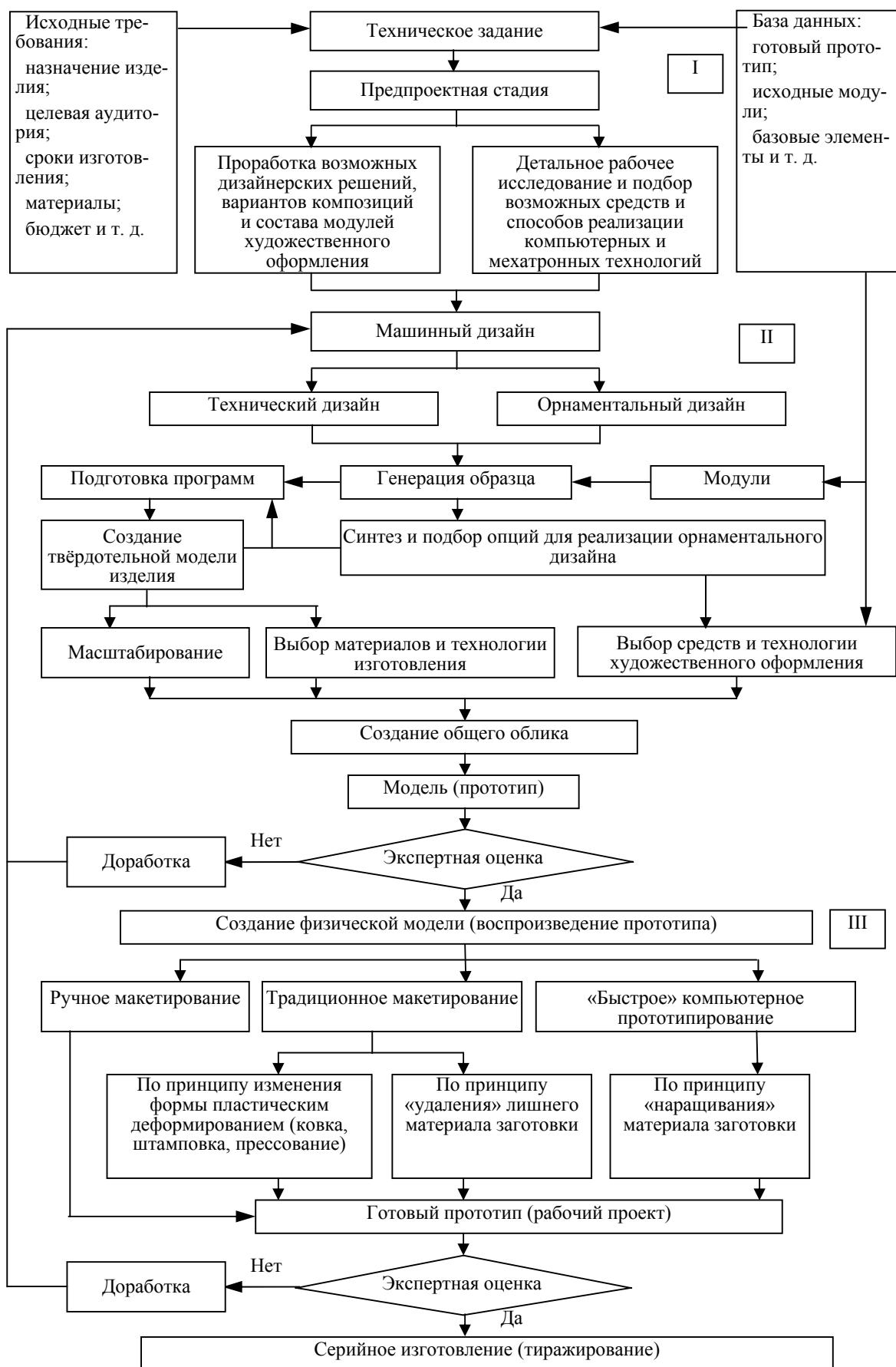


Рис. 1. Алгоритм машинного дизайнерского прототипирования

стадию I, стадию машинного проектирования II, состоящую из двух блоков – технического и орнаментального дизайна (результатом процедуры является твёрдотельная модель (прототип)) и заключительную стадию III, представляющую этап овеществления прототипа – создание физической модели.

Процедуры и технология машинного орнаментирования изделий подробно изложены в монографии [5], а последующая мехатронная реализация машинного орнаментирования представлена в монографии [6].

Таким образом, компьютерный дизайн может выступать как самостоятельный раздел технологии дизайна, дополненный мехатронными способами воспроизведения узоров [7].

При художественном оформлении объекта можно предложить общую методику проектирования орнаментального оформления в виде структурной схемы, которая определяет иерархическую структуру орнаментального дизайна поверхно-

стей [8] (рис. 2) и позволяет упорядочить разработку орнаментальных изображений.

На рис. 3 представлена схема алгоритма орнаментального проектирования.

Морфология и требования к объекту проектирования. ВНИИ технической эстетики (г. Москва) является центром системы общественного дизайна. Здесь были сформулированы задачи технической эстетики, структура которых включала рассмотрение [9]:

вопросов общей теории дизайна, выявление решаемых задач дальнейшего развития;

проблемы взаимодействия человека и вещи (эргономика);

разработки типовых требований к качеству изделий;

проблемы принципов, методов дизайнерской проработки, включая вопросы формообразования и композиции.

Также введено понятие потребительских свойств изделия, т. е. свойств, которые проявля-

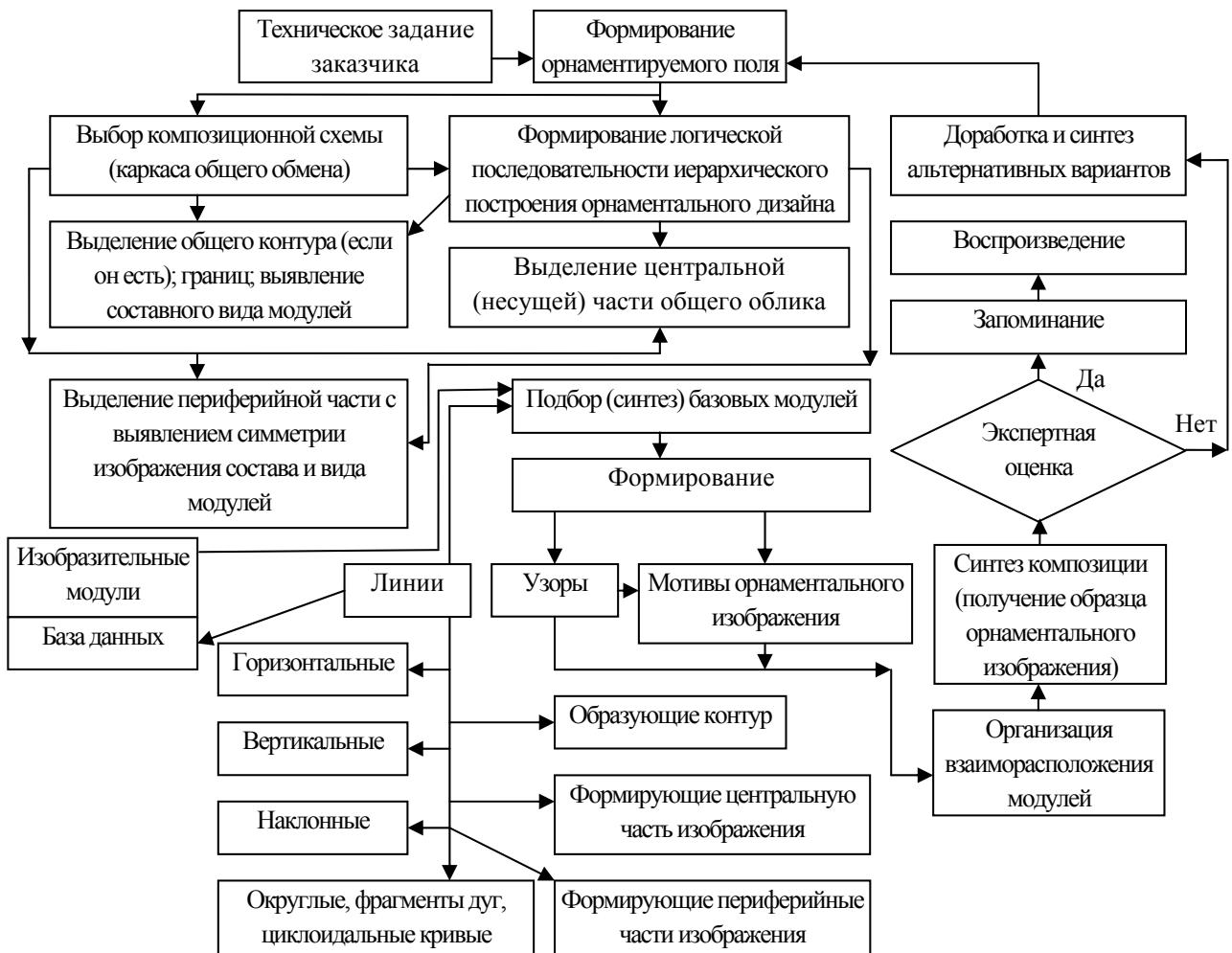


Рис. 2. Иерархическая структура формирования орнаментального дизайна поверхностей



Рис. 3. Алгоритм проектирования орнаментального изображения

ются в процессе потребления и ценные для потребителя. Их совокупность можно разделить на две группы, направленные на получение полезного эффекта при потреблении;

на затраты при производстве и эксплуатацию.

Логику модели художественного конструирования можно представить понятиями «морфология» изделия и её «аксиологию», где под морфологией понимается структура изделия, целенаправленно формируемая человеком при его создании, т. е. дизайнер раскрывает при воспроизведении проекта вещественные, натуральные свойства создаваемого объекта. Однако, кроме формообразования изделия, должны выявляться полезные функции – общественно-ценностные свойства, определяющие понятие аксиология.

Начальный этап дизайнерской проработки подразумевает аксиологию, т.е. всесторонний анализ того, что представляет собой изделие для по-

требителя и как оно взаимодействует с ним и обществом.

После анализа следует этап синтеза – создание приемлемой морфологической структуры, композиционная проработка формы изделия и её элементов, включая художественное оформление, например, при необходимости, орнаментальную отделку [5–8].

CALS-технологии в машинном дизайне. Таким образом, предложены мероприятия системного подхода к компьютерному синтезу (проектированию), технологий как самой дизайнерской проработки, так и технологии создания и последующей эксплуатации на основе интеграции (как это понимается в рамках концепции международных стандартов ИСО серии 9000) для совершенствования деятельности по обеспечению всех этапов ЖЦИ. В международной практике это связывается с внедрением стандартов ИСО 10303 и называется CALS-технологиями.

CALS-технологии в переводе – обеспечение непрерывности поставок и поддержки ЖЦИ за счёт создания максимально полной информационной модели изделия, охватывающей все этапы ЖЦИ от маркетинга до утилизации, предлагающей единое информационно-программное обеспечение на основе системного подхода к созданию новых изделий. Разработчики и комментаторы подчеркивают, что CALS – это не только конкретный программный продукт, набор правил и шаблонов, но и общая концепция создания единой информационной модели изделия.

Большое внимание уделяется интеграции при автоматизированном проектировании и документальном сопровождении изделий на всех этапах ЖЦИ. Для этого используются различающиеся российская и международная терминология и аббревиатура, которые должны хорошо понимать и правильно расшифровывать специалисты широкого профиля. В Российской Федерации в понятие САПР включается проектирование: концептуальное (системное, структурное и бликовое); функциональное (компьютерное моделирование функционирования объекта); конструкторское (общий вид по проекциям, детализировка, объёмное и поверхностное геометрическое моделирование, спецификации).

В специальной литературе на английском языке используются аббревиатуры CAD, CAM, CAE, MM, PDM:

CAD (computer aided design) – концептуальное и конструкторское проектирование;

CAM (computer aided manufacturing) включает создание управляющих программ и технологического оборудования, но не включает, как можно было назвать (*manufacturing*) само производство;

MM (maintenance management) – система поддержки ЖЦИ;

PDM (Product Data Management) – управление данными об изделии.

При использовании этих понятий интеграция в области проектирования характеризуется формулой: CAD + CAM + CAE (в тексте обычно пишется CAD/CAM/CAE), что фактически означает функциональную (в пределах проектирования и технологической подготовки производства) и документационную интеграцию.

Пример реализации машинных дизайн-технологий. Современные интегрированные CAD/CAM системы (ADEM, CIMATRON, DELCAM и др.), используемые, главным образом, в машиностроительной промышленности, в настоящее время применяются и в других сферах производства. Программное обеспечение таких систем позволяет дизайнерам, художникам, скульпторам и гравёрам повысить производительность труда, сохраняя качество изделий наряду с традиционно

ручными технологиями. CAD/CAM системы в комплексе решают художественные, проектно-конструкторские и технологические задачи; уже на начальном этапе проектирования создают множество вариантов исполнения изделия и выбирают вариант, удовлетворяющий требованиям заказчика.

Такие интегрированные системы позволяют создать гибкую систему проектирования и производства, быстро реагировать на изменение конъюнктуры рынка, сократить сроки выпуска изделия, использовать новые материалы, разнообразить дизайн изделий.

Один из современных пакетов DELCAM содержит программное обеспечение ArtCAM Pro, которое позволяет людям творческих профессий (художникам, дизайнерам, гравёрам) повысить производительность труда и качество изделий за счёт использования компьютерных технологий наряду с традиционными ручными технологиями. ArtCAM Pro содержит ряд возможностей как для моделирования, так и для изготовления высокохудожественных изделий, и используется в деревообработке (изготовление вывесок, элементов мебели, элементов декоративного оформления интерьеров). В ходе работы конструктор-дизайнер может увидеть «виртуальное» изделие, не создавая его материальный образ. На спроектированную модель наносятся декоративные элементы, орнаменты, надписи или рисунки, товарные знаки и элементы маркировки. В качестве примеров могут служить работы, связанные с изготовлением декоративных табличек, герба, медали, мемориальных плит и т. д.

Механическая обработка и расчёт управляющих программ для фрезерных станков с ЧПУ являются заключительным этапом технологии обработки полученной модели. В любой CAD/CAM системе доступно использование разнообразных технологических приёмов, реализующих двухполюсное и трёхкоординатное фрезерование: большое число траекторий обработки, использование библиотеки инструментов, подбор необработанных зон и т. д. Обеспечивая необходимое качество поверхности, CAM модуль CAD/CAM системы рассчитывает траекторию режущего инструмента для заданного числа черновых и чистовых операций. Процесс обработки можно визуально промоделировать, используя существующие в системе средства.

Для обработки поверхностей на фрезерных станках с ЧПУ в системе ArtCAM Pro (рис. 4 и 5) в автоматическом режиме формируется файл с траекториями движений инструмента. В зависимости от требований, предъявляемых к качеству обработанной поверхности, и технологических возможностей используемого станка технолог из имеющегося меню необходимо выбрать пара-

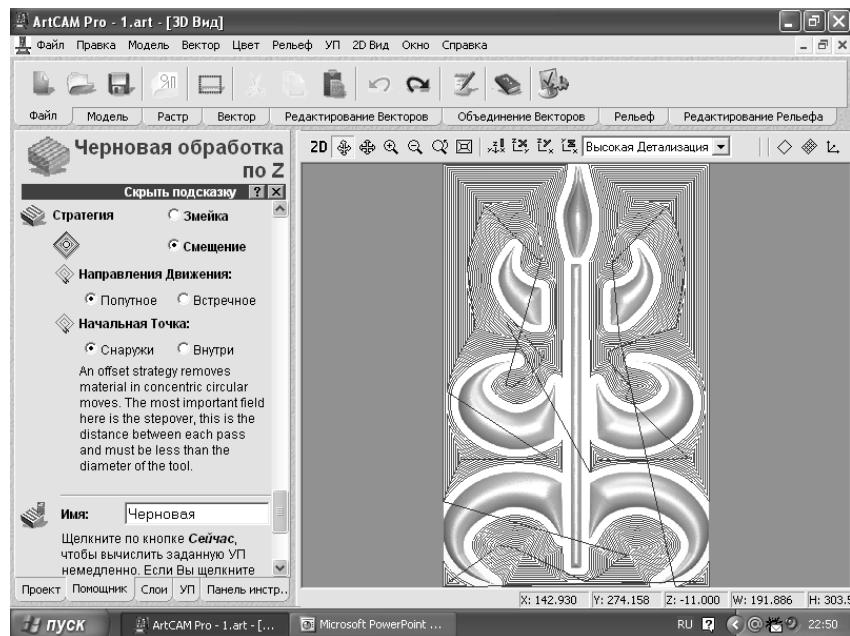


Рис. 4. Чёрновая обработка в системе ArtCAM Pro5

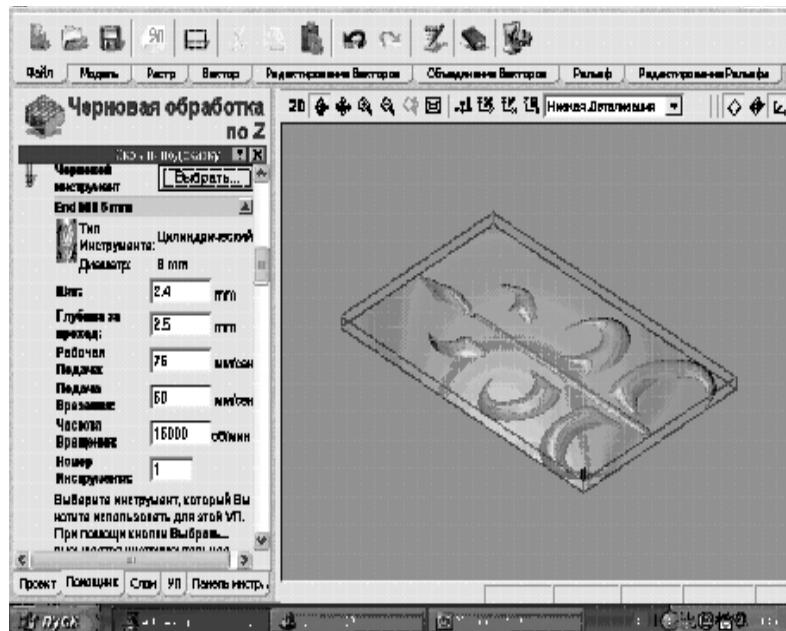


Рис. 5. Визуализация траектории перемещения инструмента в системе ArtCAM Pro5

метры механической обработки, инструмент и назначить размеры заготовки.

Библиотека типовых методов обработки включает операции контурного фрезерования, сверления, обработки рельефных поверхностей и т. д.

Автоматизация технологической подготовки производства включает разработку управляющих программ для станков с ЧПУ. Компьютерное моделирование позволяет существенно выиграть

время при проработке дизайна изделий и повысить качество обработки за счёт отладки программ не на физической модели, а на объёмной трёхмерной модели, что приводит к уменьшению себестоимости изделия. При этом трёхмерные модели можно визуализировать на экране компьютера с фотorealистическим качеством и представить заказчику виртуальное изделие. В особо ответственных случаях для согласования

дизайна изделия на станке с ЧПУ можно изгото- вить полный аналог изделия из дешёвого и лег- кообрабатываемого материала (пластика или дер-ева).

Заключение. Для быстрого реагирования на изменения в конъюнктуре и потребностей рынка перспективно применение машинных дизайн-технологий. Это, в первую очередь, относится к использованию процедур быстрого прототипиро- вания и последующего тиражирования в массо- вом производстве. Кроме того, компьютерные и мехатронные технологии существенно ускоряют процесс дизайнера проектирования, произ- водства и эксплуатации при высоком качестве создаваемых изделий и последующем прохожде-нии всех этапов ЖЦИ.

Библиографические ссылки

1. Ослэндер Д.М. Управляющие программы для ме-ханических систем: объектно-ориентированное проек-тирование систем реального времени / Д.М. Ослэндер, Дж.Р. Риджли, Дж.Д. Рингенберг / Пер. с англ. М.: БИНОМ, 2004. 413 с.
2. Аюшеева А.О., Челпанов И.Б., Никифоров Б.С. Интегрированные производственные системы: учеб. пособие. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. 60 с.

3. Дьяченко В.А., Челпанов И.Б. CALS-техноло- гии в машиностроении: учеб. пособие / под ред. М.И. Евстифеева. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2009. 205 с.

4. Челпанов И.Б., Никифоров С.О., Кочева Т.В., Никифоров Б.С. Машины дизайн-технологии быст-рого прототипирования // Вестник Бурятского универ-ситета. Вып. 9. Математика и информатика. 2010. С. 283–289.

5. Кочева Т.В., Челпанов И.Б., Никифоров С.О., Аюшеева А.О. Машинальное орнаментирование. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1999. 160 с.

6. Никифоров С.О., Мандаров Э.Б. Мехатронные устройства машинного орнаментирования изделий. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2002. 149 с.

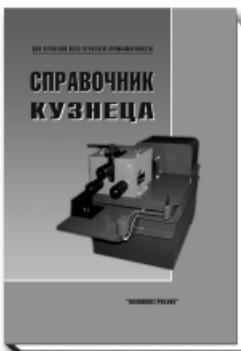
7. Никифоров С.О., Жалсанова О.С., Никифоров Б.С. Компьютерные и мехатронные технологии машинного орнаментирования изделий // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 2. С. 9–19.

8. Никифоров С.О., Никифоров Б.С., Жалсано-ва О.С. Машинальное дизайнерское проектирование из-делий с орнаментальной отделкой // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 10. С. 11–21.

9. Рунге В.Ф., Сеньковский В.В. Основы теории и методологии дизайна: учеб. пособие. М.: МЗ-Пресс, 2001. 252 с.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

СПРАВОЧНИК КУЗНЕЦА



А.С. Матвеев, В.А. Кочетков. Под редакцией **В.Ф. Безъязычного**

2011 г. 360 с. ISBN 978-5-94275-579-9

Цена 440 р.

Представлены сведения о материалах, применяемых в авиационном двигателестроении, краткие данные о физической сущности пластической деформации, основном оборудовании цехов кузнечно-штамповочного производства, используемой оснастке, нагревательных устройствах и режимах ковки и штамповки, а также контроля температур при нагреве металла. Показана роль обработки материалов давлением в создании нанокристаллической структуры материалов.

Приведены сведения об основных кузнечных и штамповочных операциях и производственных методах контроля качества поковок и штамповок. Рассмотрены вопросы термической обработки поковок и штамповок.

Дано понятие «специальный процесс», изложены требования, предъявляемые к производственному персоналу и используемому оборудованию.

Справочник рекомендуется для подготовки рабочих на предприятиях, а также в качестве учебного пособия для обучения специалистов среднего профессионального образования.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU