

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

| | |
|---|----|
| Захаров О.В. Геометрические и кинематические особенности бесцентрового шлифования с продольной подачей | 3 |
| Зорин В.Д., Зорина Т.В., Калинин В.В., Исмагилов Ф.Р., Ишимбаев Н.А. , Автоматизация процесса окисления газов десорбции установок аминовой очистки | 7 |
| Мкртычев С.В. Логическое моделирование подсистемы автоматизированного учёта бланков строгой отчётности в страховой деятельности | 14 |
| Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Бильфельд Н.В. Синтез и анализ оптимального позиционного управления технологическими процессами производства губчатого титана | 18 |

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

| | |
|--|----|
| Белоусов В.Л., Суров Д.Н. Моделирование процесса управления научными исследованиями | 22 |
| Иванов В.К. Автоматизация выбора рациональных параметров производственной системы | 26 |
| Колоколов А.А., Лукьянов А.Г. Эвристические алгоритмы для решения одной задачи планирования мелкосерийного производства сложных изделий | 29 |
| Болдина Е.А., Солдатов В.В. Коррекция управления по отношению к контролируемым возмущениям | 34 |

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

| | |
|---|----|
| Фортинский Ю.К. Аудит реализации специальных проектов в электронной промышленности | 38 |
| Пергун Е.Н., Янишевская А.Г., Лучкин Н.А. Разработка системы электронного документооборота на предприятиях | 42 |

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

| | |
|-----------------------------|----|
| По страницам журналов | 47 |
|-----------------------------|----|

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

| | |
|---|----|
| Zakharov O.V. Geometrical and kinematical features of the centerless grinding with longitudinal feed | 3 |
| Zorin V.D., Zorina T.V., Kalinin V.V., Ismagilov F.R., Ishimbaev N.A. , Automation of the gas desorption oxidation process for amine peelings facility | 7 |
| Mkrtychev S.V. Logical modeling of the automatic account subsystem for strict accountability forms in the insurance activity | 14 |
| Kirin Yu.P., Zatonkiy A.V., Bekker V.F., Bilfeld N.V. Synthesis and analysis of the technological processes optimum positional control for spongy titan production | 18 |

MODERN TECHNOLOGIES

| | |
|---|----|
| Belousov V.L., Surov D.N. Control process modeling of the scientific researches | 22 |
| Ivanov V.K. Efficient parameters selection automation for production system | 26 |
| Kolokolov A.A., Lukyanov A.G. Heuristic algorithms for a planning task decision of the complex articles small-scale production | 29 |
| Boldina E.A., Soldatov V.V. Control correction relevant to controlled disturbance | 34 |

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

| | |
|---|----|
| Fortinskiy Yu.K. Special projects implementation audit in the electronic industry | 38 |
| Pergun E.N., Yanishevskaya A.G., Luchkin N.A. Electron circulation of documents system creature on an enterprise | 42 |

SURVEY OF PERIODICALS

| | |
|--------------------------|----|
| Periodicals review | 47 |
|--------------------------|----|

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 *Галицына Т.Н.*
Компьютерный набор *Путилов В.Н.*
Компьютерная верстка *Тугаринов А.А.*

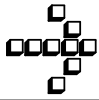
Сдано в набор 30.06.10. Подписано в печать 27.08.10.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,9. Заказ 632. Цена свободная.

Набрано в ФГУ «Научно-исследовательский институт —
Республиканский исследовательский
научно-консультационный центр экспертизы»
123995, Москва, ул. Антонова-Овсеенко, 13. Тел.: (499) 795 1789

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

ООО «Издательство Машиностроение»,
«Автоматизация и современные технологии», 2010 г.



УДК 621.923

О.В. Захаров, канд. техн. наук
(Саратовский государственный технический университет)

zov17@mail.ru

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ С ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ

Рассмотрены геометрические и кинематические особенности бесцентрового шлифования с продольной подачей. Приведены рекомендации по наладке станков, обеспечивающие наилучший характер изменения скорости заготовок по длине обработки.

Ключевые слова: бесцентровое шлифование, кинематика шлифования, наладка шлифовальных станков.

Geometrical and kinematical features of the centerless grinding with longitudinal feed are considered. Guidelines for machine-tool setting-up are adduce that provide the best change conditions of the blanks velocity on the machining length.

Key words: centerless grinding, grinding kinematic, grinding machine setting-up.

Бесцентровое шлифование с продольной подачей имеет ряд геометрических, кинематических и силовых особенностей. Во-первых, траектория относительного движения заготовок и шлифовального круга, а также непрерывность их контакта определяются профилем ведущего круга. Во-вторых, продольная скорость перемещения цилиндрических заготовок создается за счёт пространственного разворота оси ведущего круга относительно направления движения. В-третьих, равномерность вращения заготовок зависит от стабильности силового замыкания контакта в условиях односторонних связей между заготовкой и базирующими элементами станка. Таким образом, для наладки бесцентровых шлифовальных станков требуется взаимосвязанное решение геометрической, кинематической и силовой задач.

Изучению геометрических аспектов бесцентрового шлифования посвящены работы [1–4], некоторые из которых [2] основаны на приближённых выражениях. Кинематическая задача рассмотрена, например, в работе [1], а силовая задача – в работе [5]. Вопросы правки ведущего круга остроконечным алмазным инструментом исследованы в работе [6]. Однако в приведённых работах не исследован наилучший характер изменения скорости заготовок по длине обработки и не предложены способы управления скоростью продольного перемещения.

Первичной из указанных задач является геометрическая, позволяющая найти профиль ведущего круга и углы его контакта с заготовкой по

длине обработки. Расчёт профиля ведущих кругов бесцентровых шлифовальных станков базируется на основных положениях теории формообразования, а формообразующая система станка представляется в виде пространственного механизма с перекрещивающимися осями [4].

Определим поверхность ведущего круга с учётом его линейного касания с заготовкой по всей длине обработки. Рассмотрим следующие координатные системы (рис. 1): $S_1 (X_1 O_1 Y_1 Z_1)$ – система заготовки, $S_2 (X_2 O_2 Y_2 Z_2)$ – система ведущего круга. Вращательное и прямолинейно-посту-

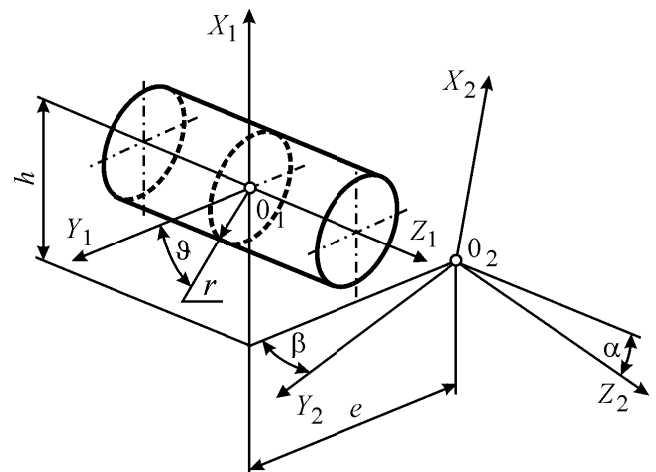


Рис. 1. Координатная схема профилирования ведущего круга

пательное движение подачи заготовке сообщает ведущий круг, ось которого перекрещивается с осью шлифовального круга и осью заготовки под углом α в проекции на вертикальную плоскость и под углом β в проекции на горизонтальную плоскость. Для устойчивого силового замыкания контакта ось заготовки устанавливают обычно выше осей кругов на величину h .

Поверхность ведущего круга, описанную радиусом-вектором \bar{r}_2 , получим при переносе поверхности заготовки радиусом-вектором \bar{r}_1 из системы координат S_1 в систему S_2 с помощью матрицы перехода Φ и нахождения контактной линии на основе кинематического условия. Уравнения поверхности ведущего круга в векторной форме запишем в виде

$$\left. \begin{aligned} \bar{r}_2 &= \Phi \bar{r}_1; \\ \bar{n} \bar{v} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где \bar{n} – вектор нормали к поверхностям; \bar{v} – вектор скорости относительного движения.

Матрица Φ имеет вид

$$\left\| \begin{array}{cccc} \cos \alpha & -\sin \alpha \sin \beta & \sin \alpha \cos \beta & h \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta & e \\ -\sin \alpha & -\cos \alpha \sin \beta & \cos \alpha \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где e – межосевое расстояние заготовки и ведущего круга в точке O_2 .

Окончательно уравнения семейства поверхностей ведущего круга имеют вид

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= -r(\sin \vartheta \cos \alpha + \cos \vartheta \sin \alpha \sin \beta) + \\ &+ l \sin \alpha \cos \beta + h; \\ Y_2 &= r \cos \vartheta \cos \beta + l \sin \beta + e; \\ Z_2 &= r(\sin \vartheta \sin \alpha - \cos \vartheta \cos \alpha \sin \beta) + \\ &+ l \cos \alpha \cos \beta, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где r – радиус заготовки; ϑ, l – криволинейные координаты цилиндрической поверхности.

Кинематическое условие линейного касания поверхностей определяется условием пересечения нормали к поверхности заготовки с осью ведущего круга:

$$\left| \begin{array}{ccc} -r \sin \vartheta + h & r \cos \vartheta + e & l \\ -\sin \vartheta & \cos \vartheta & 0 \\ -\sin \alpha & -\sin \beta & \cos \alpha \cos \beta \end{array} \right| = 0. \quad (4)$$

Из условия (4) установим зависимость между координатами ϑ и l :

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{l \operatorname{tg} \alpha \sec \beta + h}{e + l \operatorname{tg} \beta \sec \alpha}. \quad (5)$$

Таким образом, поверхность ведущего круга описана уравнениями (3) и (5). Профиль круга задают координатами (Z_2, R_2) , где $R_2 = \sqrt{X_2^2 + Y_2^2}$, а координата Z_2 является независимым параметром. Анализ показал, что поверхность ведущего круга близка по форме к поверхности однополостного гиперboloида. Так, при радиусе заготовки, равном нулю, цилиндр превращается в прямую и образует однополостный гиперboloид. Поэтому полученную поверхность ведущего круга можно назвать квазигиперboloидной. Кривизна профиля ведущего круга уменьшается с увеличением радиуса r заготовки. Увеличение расстояния h или уменьшение угла α способствуют созданию более рациональной формы круга с меньшей кривизной профиля. Существенное значение данный факт приобретает для станков с широкими шлифовальными кругами.

Рассмотрим изменение окружной и продольной скоростей заготовок по длине обработки и влияние на них параметров наладки бесцентрового шлифовального станка. В процессе обработки заготовка и ведущий круг касаются друг друга по пространственной линии контакта (рис. 2). Направление вращения ведущего круга задано таким образом, чтобы продольная составляющая скорости v_{\parallel} движения заготовки имела положительное направление по оси Z_1 , т. е. от входа к выходу из зоны обработки.

При вращении ведущего круга с постоянной угловой скоростью ω_2 в различных точках контакта скорость v отличается как по величине, так и по направлению, а следовательно, меняется и продольная составляющая скорости заготовки вдоль траектории её движения. При отсутствии проскальзывания заготовка имеет окружную скорость, равную окружной скорости v_0 ведущего круга в точке контакта A .

Вектор скорости контактной точки A на поверхности ведущего круга находят по формуле

$$\bar{v} = \bar{\omega}_2 \times \bar{R}_2, \quad (6)$$

где \bar{R}_2 – радиус-вектор ведущего круга в точке контакта.

Проецируя скорость v на оси координат, получим выражение для окружной

$$v_0 = R_2 \omega_2 [\sin^2 \vartheta \cos^2 \alpha + (\cos \vartheta \cos \beta - \sin \vartheta \sin \alpha \sin \beta)^2]^{1/2} \quad (7)$$

и продольной скоростей заготовок

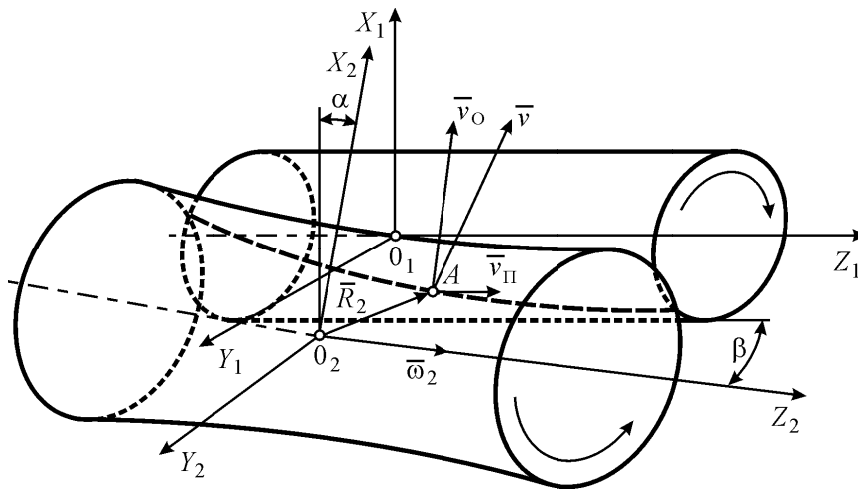


Рис. 2. Схема расчёта кинематических параметров шлифования

Геометрические и кинематические параметры при бесцентровом шлифовании

| Z ₁ , мм | R ₂ , мм | ϑ, градус | v, мм/мин | v ₀ , мм/мин | v _π , мм/мин |
|---------------------|---------------------|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|
| -200 | 192,549 | 5,19 | 38 510 | 38 507 | 456,3 |
| -100 | 192,021 | 6,16 | 38 404 | 38 401 | 477,1 |
| 0 | 191,557 | 7,13 | 38 311 | 38 308 | 497,6 |
| 100 | 191,155 | 8,07 | 38 231 | 38 228 | 517,7 |
| 200 | 190,818 | 9,01 | 38 163 | 38 160 | 537,5 |

$$v_{\pi} = R_2 \omega_2 (\cos \vartheta \sin \beta + \sin \vartheta \sin \alpha \cos \beta). \quad (8)$$

Пример расчёта геометрических и кинематических параметров при бесцентровом шлифовании приведён в таблице для следующих исходных данных: r = 10 мм, h = 25 мм, e = 200 мм, α = 2°, β = 30', ω = 200 мин⁻¹.

Анализ таблицы показал, что значения окружной v₀, продольной v_π и результирующей v скоростей заготовки зависят в первую очередь от радиуса, угла поворота в вертикальной плоскости и угловой скорости ведущего круга. В наибольшей степени характер изменения скоростей заготовки обусловлен профилем ведущего круга. При заданных параметрах наладки станка изменение скоростей имеет одинаковый характер и для применяемых на практике величин не превышает 5–10 % от среднего значения. При этом обеспечить постоянство скоростей по всей длине обработки не представляется возможным.

Типичные графики изменения окружной v₀ и продольной v_π скоростей заготовок в зависимости от угла β при h = 0 показаны на рис. 3. Положительное значение вертикального смещения h способствует смещению минимума скоростей в на-

правлении выхода из зоны обработки (положительное направление оси Z₁). Из рис. 3 видно, что имеют место три варианта изменения скоростей v₀ и v_π, причём и для окружной, и для продольной скоростей они носят одинаковый характер.

Первый вариант (кривая 1) наблюдается при положительном значении угла β и заключается в плавном уменьшении скоростей от входа к выходу из зоны обработки. Во втором варианте (кривая 2) для β = 0 скорость имеет минимальное значение. В третьем варианте (кривая 3) при отрицательном угле β скорость плавно увеличивается по длине обработки. Таким образом, наиболее рациональным следует считать первый вариант изменения продольной скорости, при котором её значение на входе больше, чем на выходе из рабочей зоны. Тогда в плотном потоке каждая последующая заготовка торцом поддерживает предыдущую, что создаёт так называемый подпор и обеспечивает примерно постоянную скорость всех заготовок по длине обработки.

Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

ведущий круг бесцентрового шлифовального станка имеет квазигиперболоидную форму (близ-

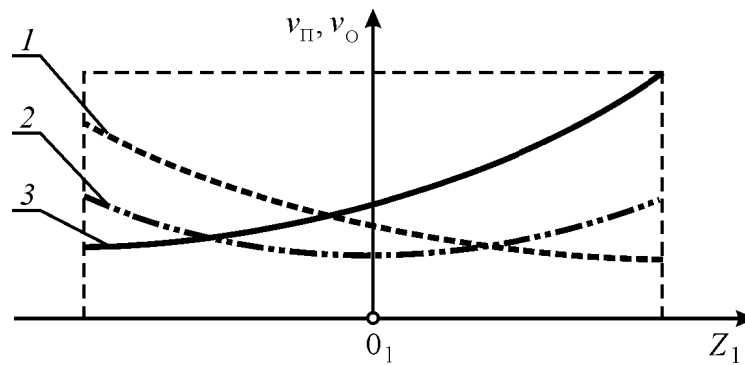


Рис. 3. Изменение продольной и окружной скоростей заготовок

кую к однополостному гиперboloиду), которая зависит от параметров его установки — углов поворота по вертикали, горизонтали и вертикального смещения относительно оси заготовки;

окружная и продольная скорости заготовки зависят, в первую очередь, от радиусов, угла поворота в вертикальной плоскости и угловой скорости ведущего круга. Изменения указанных скоростей по длине обработки имеют одинаковый характер и для применяемых на практике наладок станков не превышают 5–10 % среднего значения;

характер изменения окружной и продольной скоростей заготовок в наибольшей степени обусловлен профилем ведущего круга. Получить постоянное значение скоростей по всей длине обработки невозможно. Управлять изменением скоростей следует с помощью угла поворота ведущего круга в горизонтальной плоскости;

наиболее рациональным следует считать характер изменения продольной скорости, при котором её значение на входе больше, чем на выходе из рабочей зоны. В этом случае создаётся постоянный подпор заготовок со стороны предыдущих и обеспечивается примерно одинаковая скорость

всех заготовок. Для этого необходим поворот ведущего круга по горизонтали на небольшой угол таким образом, чтобы уменьшить межосевое расстояние на выходе из рабочей зоны.

Библиографические ссылки

1. **Ашкиназий Я.М.** Бесцентровые круглошлифовальные станки. Конструкции, обработка и правка. М.: Машиностроение, 2003. 352 с.
2. **Слонимский В.И.** Теория и практика бесцентрового шлифования. М.: Машгиз, 1952. 286 с.
3. **Филькин В.П., Колтунов И.Б.** Прогрессивные методы бесцентрового шлифования. М.: Машиностроение, 1971. 204 с.
4. **Захаров О.В.** Минимизация погрешностей формообразования при бесцентровой абразивной обработке. Саратов: СГТУ, 2006. 152 с.
5. **Захаров О.В., Челпанов И.Б.** Устойчивость бесцентрового шлифования с продольной подачей по силовым параметрам // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 11. С. 9–11.
6. **Захаров О.В., Бржозовский Б.М.** Правка ведущего круга бесцентрового шлифовального станка // Автоматизация и современные технологии. 2006. № 9. С. 20–23.

Уважаемые читатели!

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При этом ссылка на журнал обязательна.

УДК 665:632.074.341

В.Д. Зорин, канд. техн. наук, **Т.В. Зорина**, **В.В. Калинин**, канд. техн. наук (ООО «Волгограднефтепроект» г. Волгоград), **Ф.Р. Исмагилов**, д-р техн. наук, проф. (Астраханский государственный технический университет), **Н.А. Ишимбаев**, канд. техн. наук, доц. (Уфимский государственный нефтяной технический университет)

frismagilov@bk.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ГАЗОВ ДЕСОРБЦИИ УСТАНОВОК АМИНОВОЙ ОЧИСТКИ

Рассмотрен подход к проектированию аналоговых и цифровых регуляторов с контурами упреждающего управления по опорному значению управляемой величины и её возмущению и с контуром обратной связи, позволяющий использовать модели при реализации систем автоматического регулирования на управляющем компьютере. Определены диагностические параметры, характеризующие предаварийные и аварийные ситуации, на основе этих параметров синтезированы алгоритмы сигнализации, остановки или аварийной остановки без участия оператора.

Ключевые слова: сероводород, очистка, окисление, параметры, псевдооживление, автоматизация, регуляторы, контуры, противоаварийная защита, диагностика, аварийная и предаварийная ситуация.

Designing method of the analog and digital regulators with forestalls control contours in accordance with controlled parameter supporting meaning and its disturbance and with outline reverse connection is considered. This method allows to use models by automatic adjustment system realization by mean of operating computer. Diagnostic parameters defining pre-breakdown and breakdown situations are described. Algorithms of signaling, stopping and breakdown stopping without operator participation are synthesized.

Key words: hydrogen sulfide, cleaning, oxidation, parameters, fluidization, automation, regulators, outlines, anti-damage safeguard, diagnostics, pre-breakdown and breakdown situation.

Одним из перспективных методов переработки сероводородсодержащих газов (СВСГ) является прямое окисление их до образования серы в кипящем слое сферического катализатора (КСК) [1]. В отличие от метода Клауса он может быть использован для переработки газов, содержащих сероводород в широком диапазоне концентраций [2]. Этот метод позволяет подвергать селективному окислению сероводород, содержащийся в «кислых» газах колонны десорбции установок аминовой очистки, и сероводород в присутствии углеводородов (т.е. в составе попутных, нефтезаводских или природных газов) для очищения углеводородных газов без предварительного выделения сероводорода абсорбционным методом, например, на установках аминовой очистки.

Опытно-промышленные испытания процесса прямого окисления сероводорода показывают, что дальнейшее совершенствование процесса должно идти в направлении повышения устойчивости работы реакторного узла. Возможность управления температурным режимом окисления, режимом КСК и поддержание требуемого отношения сероводорода к кислороду являются важными условиями стабильного функционирования процесса.

От температурного режима реактора (ТРР) зависит один из важнейших показателей процесса окисления — селективность превращения сероводорода в серу. На температуру оказывает влияние содержание сероводорода в исходном газе, поскольку с его увеличением повышается выделение тепла при проведении экзотермической реакции окисления сероводорода. На ТРР также влияет эффективность теплосъёма из реакционной зоны экзотермической реакции окисления сероводорода в слое катализатора.

Необходимость отвода тепла с целью поддержания изотермических условий работы катализатора при подаче на окисление высококонцентрированных «кислых» газов является одной из трудностей осуществления процесса. Адиабатический режим окисления возможен только при небольшой концентрации сероводорода в узком интервале значения. При содержании его в газе в пределах от 6–8 до 50–60 % окисление в устойчивом режиме удаётся проводить в КСК, в реакторе со встроенным змеевиком для подачи охлаждающего агента. При более высоком содержании сероводорода задача значительно усложняется. Для получения тепла при окислении таких высококонцентрированных газов потребуется увеличить



Рис. 1. Регулирование температуры в реакторе:

u_0 – опорный сигнал, соответствующий максимальной температуре в реакторе; $u_{тр}$ – сигнал, пропорциональный максимальной температуре в реакторе

поверхность змеевикового теплообменника, что возможно только до определённого предела. Расчёты показывают, что существуют предельные значения соотношения объёма реактора, занятого змеевиком элементом, к общему его объёму, выше которого нарушается режим КСК и осуществление процесса становится невозможным

Режим КСК определяется в основном скоростью подачи газового потока в реактор. На него оказывает влияние также колебание содержания сероводорода в исходном газовом потоке. В этом случае по ходу технологического процесса (ТП) возникает необходимость в увеличении или уменьшении подачи окислителя воздуха на смешение с очищаемым газовым потоком с целью обеспечения требуемого для реакции окисления стехиометрического соотношения «сероводород–кислород», равного 2:1, что вызывает изменение в ту или другую сторону суммарного количества потока газа, пропускаемого через реактор в единицу времени.

Сбор и обработка информации о процессе прямого окисления СВСГ использованы для создания принципиальной основы и функциональных элементов процесса разработки систем управления технологическим процессом. Технологический блок окисления сероводорода, выбор технических средств автоматизации и схемы противоаварийной защиты (ПАЗ) должны обеспечивать минимальный уровень взрывоопасности. В Правилах безопасности [3] определены следующие задачи контроля и управления, которые должны решать автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУТП):

постоянный контроль за параметрами процесса и их поддержание на заданном уровне;

регистрация срабатывания и контроль работоспособности средств ПАЗ (задачи технической диагностики работоспособности ПАЗ);

постоянный контроль за состоянием воздушной среды в пределах объекта;

постоянный анализ изменения параметров в сторону критических значений и прогнозирование возможной аварии;

действие средств управления и ПАЗ, прекращающих развитие опасной ситуации (разработка системы мягкого вывода аварийной ситуации на безопасный режим);

выбор и реализация оптимальных управляющих воздействий;

проведение операций без аварийного пуска, останова и всех необходимых для этого переключений;

выдача информации о состоянии объекта в вышестоящие системы управления.

Перечисленные нормы должны лежать в основе разработки АСУТП. Для производственных систем переработки нефти и газа вопросы обеспечения эффективности управления и безопасности, начиная с масштабов отрасли и заканчивая производственными установками и отдельными технологическими аппаратами, особенно актуальны в силу экономической важности [4].

Подсистемы по поддержанию измеряемых технологических параметров на заданном уровне осуществляют:

сбор информации о параметрах;
выработку управляющих воздействий на ТП;
сигнализацию о выходе этих параметров;
блокировку ошибочных действий персонала и управляющих действий;
противоаварийную защиту ТП по факту аварийных событий.

Подсистемы такого уровня могут быть, как правило, реализованы с использованием традиционных методов регулирования динамическими объектами по схеме «объект–регулятор» [5]. При-

мерами являются подсистемы поддержания температуры, давления, уровня, расхода вещества в резервуарах, ректификационных колоннах, адсорберах, печах, насосах, реакторах и т. д. Разрабатывается подсистема регулирования и стабилизации технологических параметров с использованием дискретных регуляторов.

На рис. 1 представлена схема стабилизации и регулирования температуры в реакторе. Она включает температурные датчики $TE1, \dots, TE5$, устройство сравнения, цифровой пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор), исполнительное устройство, изменяющее расход охлаждающей жидкости через змеевик реактора. Управляющий компьютер имеет аналоговый вход и аналоговый выход, поэтому в системе цифровой регулятор можно рассматривать как аналоговый, вырабатывающий сигнал в соответствии с выражением

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt},$$

где K_P, K_I, K_D – коэффициенты настройки регулятора; $e(t)$ – сигнал ошибки.

Оптимальные настройки регулятора определяются на основе полной структуры системы регулирования и знания всех передаточных функций. После определения оптимальных настроек разрабатывается цифровая модель регулятора.

Для цифрового моделирования интеграла обычно используют метод прямоугольников или метод трапеций. Воспользовавшись методом трапеций, получим:

$$u_{Ik} = u_{Ik-1} + \frac{\Delta}{2} (e_k - e_{k-1}),$$

где u_{Ik} – сигнал, соответствующий коэффициенту настройки регулятора K_I ; e_{k-1}, e_k – сигнал ошибки в $(k-1)\Delta$ и в $k\Delta$ дискретные моменты времени.

Обозначения этого математического выражения приведены на рис. 2. Производную заменим конечной разностью в соответствии с выражением

$$u_{Dk} = \frac{1}{\Delta} (e_k - e_{k-1}),$$

где u_{Dk} – сигнал, соответствующий коэффициенту настройки регулятора K_D .

Отсюда цифровую модель представим в виде

$$u_k = u_{Pk} + u_{Ik} + u_{Dk} = K_P e_k + K_I \left(u_{k-1} + \frac{\Delta}{2} (e_k - e_{k-1}) \right) + \frac{K_D}{\Delta} (e_k - e_{k-1})$$

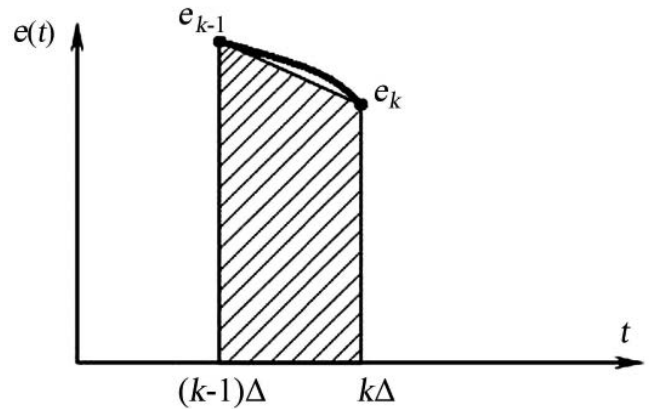


Рис. 2. Аппроксимация интеграла:

$e(t)$ – сигнал ошибки; e_{k-1}, e_k – сигнал ошибки в $(k-1)\Delta$ и в $k\Delta$ дискретные моменты времени; k – дискретный аргумент; Δ – шаг дискретизации по времени; t – время

или

$$u_k = K_I u_{k-1} + \left(K_P + K_I \frac{\Delta}{2} + \frac{K_D}{\Delta} \right) e_k - \left(K_I \frac{\Delta}{2} + \frac{K_D}{\Delta} \right) e_{k-1},$$

где u_{Pk} – сигнал, соответствующий коэффициенту настройки регулятора K_P

Принципиальным является вопрос выбора интервала дискретизации Δ или частоты дискретизации $f_D = 1/\Delta$. В общем случае величина f_D должна выбираться на основе теоремы отсчетов (теоремы Котельникова), т. е. частота дискретизации должна быть в 2 раза больше максимальной частоты спектра сигнала ошибки $e(t)$.

Другим важным вопросом является выбор первичного преобразователя температуры. Учитывая температурный диапазон, наиболее удобно применить резистивные датчики температуры.

Резистивные датчики температуры обычно выполняются из платиновой проволоки. Сопротивление R является практически линейной функцией температуры t при начальном значении $t_0 = 0$. Отношение сопротивления R при температуре t к сопротивлению R_0 при начальной температуре $t_0 = 0$ можно выразить как

$$R/R_0 = 1 + at + bt^2 + \dots +,$$

где a – температурный коэффициент сопротивления; b – положительная или отрицательная постоянная.

Для платины типичными значениями параметров являются $a = 0,004$ и $b = 0,59 \cdot 10^{-6}$.

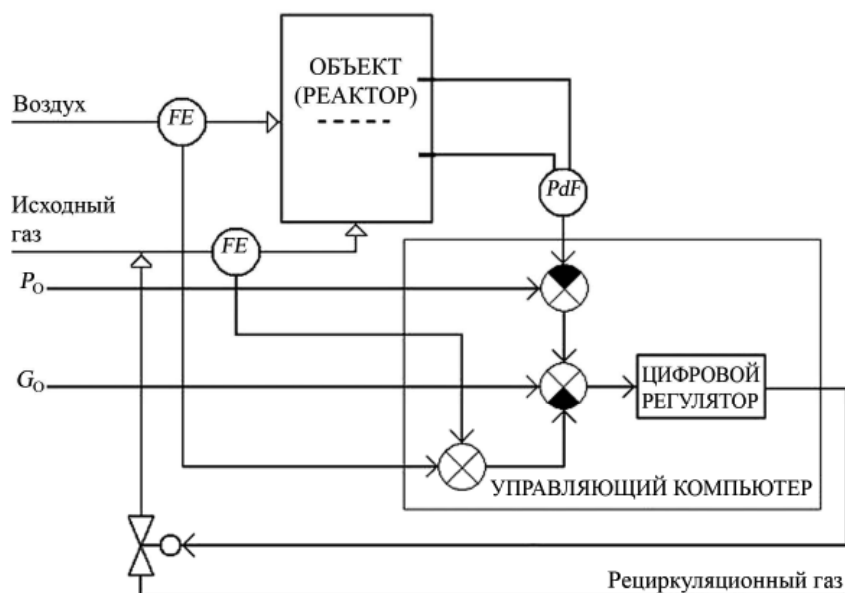


Рис. 3. Система стабилизации кипящего слоя катализатора:

P_0 – опорное значение по разности давлений; G_0 – опорное значение по суммарному объёмному расходу

Датчики представляют собой набор стандартных сопротивлений. Наиболее часто используемый тип этих датчиков имеет сопротивление 100 Ом при температуре $t_0 = 0$.

Датчики имеют весьма низкую чувствительность, и любой ток, используемый для определения изменения сопротивления, будет нагревать датчик, изменяя его показания на величину, пропорциональную величине тока в квадрате I^2 . Сопротивление датчика обычно преобразуется в напряжение мостовыми схемами.

Стабилизация кипящего слоя катализатора в реакторе. Система стабилизации кипящего слоя катализатора [6] включает два контура регулирования (рис. 3).

Первый контур стабилизирует суммарный расход газовых потоков, поступающих в реактор за счёт изменения расхода рециркуляционного газа; второй (упреждающий) корректирует уровень кипящего слоя катализатора.

Входным сигналом для первого контура регулирования является сигнал, пропорциональный суммарному расходу. При увеличении расхода цифровой регулятор вырабатывает управляющий сигнал, уменьшающий подачу рециркуляционного газа.

Входным сигналом для второго контура регулирования является сигнал, пропорциональный разности давления до и после кипящего слоя катализатора. При снижении уровня кипящего слоя разность давления повышается, что приводит к увеличению подачи рециркуляционного газа и суммарного расхода. Цифровой регулятор пред-

ставляет собой ПИД-регулятор со своими настройками.

Стабилизация оптимального соотношения «кислород–сероводород». Оптимальное соотношение стабилизируется регулированием концентрации кислорода [7]. Ранее было показано, что оптимальным соотношением для k является

$$k = k_n = G_B C_{O_2} / G_T C_{H_2S} = 0,525 ,$$

где k_n – оптимальное стехиометрическое соотношение; G_B – объёмный расход воздуха; C_{O_2} – концентрация кислорода в воздухе; G_T – объёмный расход СВСГ; C_{H_2S} – концентрация сероводорода в СВСГ.

При использовании разделителей воздуха концентрация кислорода может достигать до 85 %, т. е. может быть увеличена в 4 раза. Следовательно, при постоянных значениях G_T и G_B , диапазон допустимого изменения концентрации сероводорода составит 10–40 % при оптимальном значении k . Диапазон изменения концентрации сероводорода увеличивается до 80 % за счёт повышения номинального расхода воздуха в 2 раза, $G_{B2} = 4 G_B$.

Диапазон изменения расхода рециркуляционного потока при $G_B = 75 \text{ м}^3/\text{ч}$ составит 130–180 $\text{м}^3/\text{ч}$, при $G_{B2} = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ – 45–105 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Регулирование достигается за счёт использования мембранного разделителя воздуха, позволяющего изменять концентрацию кислорода в широких пределах. Структура системы регулирования с использованием управляющего ком-

Таблица 1

**Причины возникновения предаварийных и аварийных ситуаций
и тенденции их развития**

| События | Причины | Тенденции развития |
|----------------------------------|---|--|
| X1 $\Delta P \geq \Delta P^*$ | Уменьшение или увеличение расхода сырья | Оседание или унос КСК, затухание реакции, проскок кислорода |
| X2 $P_c \leq P_c^*$ | Снижение мощности и отключение источника сырья | Оседание КСК, затухание реакции, проскок кислорода |
| X3 $T \leq T^*$ | Снижение расхода воздуха, низкая температура сырья. Нарушение теплообмена | Угроза проскока кислорода, затухание реакции |
| X4 $T \geq T^*$ | Увеличение концентрации H_2S , недостаточный теплообмен | Горение компонентов СВСГ, угроза детонации и разрушения реактора |
| X5 $\alpha \geq \alpha^*$ | Уменьшение расхода СВСГ, заклинивание клапана G_r , отказ автоматики | Угроза взрыва |
| X6 $P_p \geq P_p^*$ | Горение водорода, самовоспламенение смеси | Угроза детонации, разрушение реактора |
| X7 $R \geq R^*$ | Уменьшение расхода рециркулирующего потока | Горение очищаемых компонентов |

Таблица 2

Состояние клапанов при наступлении событий X_i

| События | G_r (U1) | G_B (U2) | G_{Φ} (U3) | G_{Π} (U4) | ПК (U5) | КЛ (U6) | КР (U7) | Состояние процесса |
|---------|---------------|---------------|--------------------|-------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| X1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | XX |
| X2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | XX |
| X3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | XX |
| X4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | ОСТ |
| X5 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | XX |
| X6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | АВОСТ |
| X7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | XX |

пьютера выглядит достаточно просто. Стехиометрическое соотношение вычисляется управляющим компьютером и сравнивается с оптимальным (k_H).

Воздействие на цифровой регулятор (рис. 4) происходит пропорционально разности ($k_H - k$). Регулятор вырабатывает сигнал на регулирующий клапан, расположенный на линии отходящего потока из мембранного разделителя воздуха. При этом суммарный расход газовых потоков остаётся постоянным. Он регулируется другой

системой, следящей за постоянством суммарного расхода.

Во всех схемах регулирования используется программа цифрового ПИД-регулятора. Однако каждая программа имеет свои настройки, соответствующие коэффициентам K_p , K_I , K_D , которые обеспечивают оптимальные параметры регулирования. Выбор этих настроек зависит от типа передаточных функций, входящих в контур регулирования, а также от необходимых параметров регулирования.

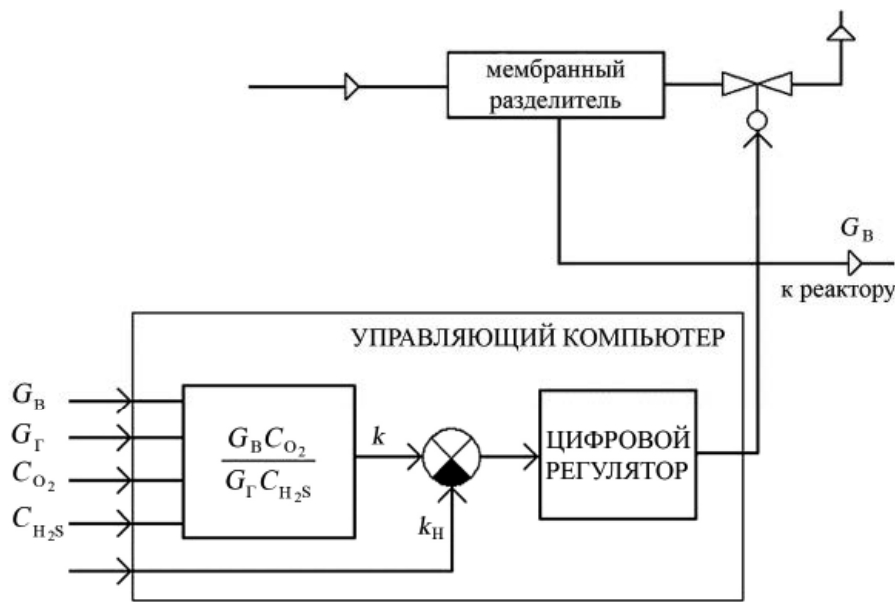


Рис. 4. Стабилизация оптимального соотношения «кислород–сероводород»:

C_{O_2} – концентрация кислорода в воздухе; G_B – объёмный расход воздуха, C_{H_2S} – концентрация сероводорода; G_T – объёмный расход исходного СВСГ; k – стехиометрическое соотношение; k_H – оптимальное стехиометрическое соотношение

Подсистема противоаварийной защиты. Эта подсистема предназначена для решения следующих задач.

1. Диагностика предаварийных и аварийных ситуаций:

постоянный анализ изменения параметров ТП в сторону критических значений;
прогнозирование возможной аварии;
сигнализация при достижении критического значения ТП.

2. Выработка управляющих воздействий, предотвращающих развитие опасных ситуаций:

в процессе пуска и остановки;
при незначительных отклонениях параметров ТП («мягкий» вывод на безопасный режим);
при достижении критических значений ТП (вывод из аварийных ситуаций).

Диагностика предаварийных и аварийных ситуаций от внезапных нарушений технологического режима, отказов оборудования, сбоев автоматики и ошибок операторов осуществляется на основе вероятности возникновения следующих аварийно-информативных событий (параметров):

превышение диапазона перепада давления в реакционной камере, характеризующее оседание или унос кипящего слоя катализатора ΔP^* (X1);

падение давления сырья до критического P_c^* (X2);

значение температуры в реакторе ниже критического значения T^* (X3);

значение температуры в реакторе выше критического значения T^* (X4);

значение коэффициента избытка воздуха выше критического значения α^* (X5);

давление в реакторе выше критического значения P_p^* (X6);

коэффициент рециркуляции ниже допустимого значения R^* (X7).

Каждое из событий X_i обусловлено множеством причин (табл. 1).

Например, повышение температуры в реакторе (событие X4) может быть обусловлено изменением расхода потоков, концентрацией сероводорода в исходном газе, недостаточным теплоотводом и др. Причём одна причина может вызвать возникновение нескольких событий X_i . Так, падение давления сырья может привести к событиям X1, X5, X3, X7 (оседание КСК, превышение критического значения коэффициента избытка воздуха, снижение температуры в реакторе, снижение коэффициента рециркуляции ниже критического значения). Таким образом, предлагаемый комплекс информативных параметров X_i обеспечивает резервирование и повышает показатели надёжности.

После наступления любого из событий X_i необходимо перевести процесс в безопасный режим или осуществить останов процесса.

Режимы, в которые необходимо перевести ТП при наступлении события X_i , по степени тяжести

последствий можно условно разделить на три категории: холостой ход (ХХ), остановка (ОСТ), аварийный останов (АВОСТ).

Режим ХХ присущ предпусковому состоянию: неустановившийся уровень КСК, низкая температура реакционной зоны. Для перевода объекта в это состояние в первую очередь необходимо своевременно отключить подачу воздуха во избежание образования взрывоопасной газовой смеси. Этот режим характеризуется тем, что параметры ТП могут войти в норму без негативных последствий в режиме автоматического самозапуска.

Для обеспечения самозапуска из режима ХХ и запрета его выхода из других режимов необходим логический элемент «клапан-ключ» (КЛ). При пуске установки оператор переводит КЛ в состояние «1» (пуск разрешён при достижении параметров ТП номинальных значений). Если установка прогрета и в аппарате образуется кипящий слой катализатора, то автоматически включается подача воздуха. Если же параметры ТП не достигли номинальных значений, все попытки ручной подачи воздуха будут автоматически заблокированы.

Режим остановки является предаварийным состоянием вследствие значительных нарушений ТРР: перегрев реактора с последующим спеканием КСК. Для предотвращения аварии необходимо перекрыть подачу всех входящих в реактор газовых потоков. Выход из этого режима недопустим без выяснения причин и проведения восстановительных работ.

Режим АВОСТ возникает при недопустимом возрастании давления в реакторе из-за горения водорода. Для предотвращения аварии необходимо перекрыть подачу всех входящих в реактор газовых потоков, а выход реактора переключить на факельную линию независимо от срабатывания предохранительного клапана (ПК).

При наступлении состояний ОСТ и АВОСТ осуществляется перевод КЛ в состояние «0» (пуск запрещён) во избежание ложного автозапуска (подача газовых потоков в реактор).

В соответствии с изложенным выше определяем необходимые состояния предохранительных клапанов и ключа КЛ, которые приведены в табл. 2 (значение «1» соответствует открытому состоянию клапана, а «0» – закрытому).

В табл. 2 G_r , G_b , G_{ϕ} , G_{Π} – клапаны на линии входа СВСГ, подачи воздуха, сброса газов на факел, очищенного газа потребителю соответственно; ПК, КЛ, КР – предохранительный клапан, клапан-ключ, клапан на рециркуляции соответственно.

Для перевода из предаварийных состояний X_i в безопасный режим необходимо синтезировать

сигналы управления клапанами-отсекателями КЛ в соответствии с табл. 2 и сигналы тревоги:

$$U_i = f(X_i), I = \overline{(1,10)},$$

где $U_i, I = \overline{(1,7)}$ – сигналы управления клапанами и КЛ; $U_i, I = \overline{(8,10)}$ – сигналы тревоги.

Состояние КЛ определяется как $U7 = U7 \times (X4 \vee X6)$, устанавливается нажатием кнопки «Пуск», и далее сбрасывается сигналами $X4$ и $X6$. При этих же событиях $X4$ и $X6$ независимо от состояния КЛ ($U6$) отключается подача СВСГ, но с задержкой по $X4$:

$$U1 = \overline{X4(t - \tau_3)X6},$$

где τ_3 – оптимальное время контакта в реакторе.

Отсекание воздуха производится при наступлении любого события X_i , а его включение (автозапуск) определяется состоянием $U6$ и восстановлением номинальных параметров ТП (события $X1$, $X2$, $X3$ и $X5$ отрицательны):

$$U2 = \overline{(X4 \vee X6) \vee [U7(X1 \vee X2 \vee X3 \vee X5 \vee X7)]}.$$

Переключатель выхода «факел/рециркуляция» однозначно связан с сигналом $U2$ и не должен усугублять ситуацию, поэтому сигналы управления факелом и рециркуляцией формируются как

$$U3 = \overline{U2} \text{ и } U4 = U3.$$

Сигналы на звуковую и световую сигнализацию формируются следующими логическими функциями:

$$U8 = (X1 \vee X2 \vee X3 \vee X5 \vee X7) \overline{X6X4},$$

$$U9 = X4, U10 = X6.$$

Предложен и разработан способ регулирования оптимального соотношения объёмных расходов кислорода и сероводорода, заключающийся в изменении концентрации кислорода в воздухе с помощью мембранного газораспределительного аппарата. Способ реализован с использованием цифрового регулятора на управляющем компьютере. Он позволяет производить очистку газа с концентрацией сероводорода от 10 до 80 %. Предложен и разработан способ регулирования уровня КСК, заключающийся в стабилизации суммарного объёмного расхода,

поступающего в реактор, за счёт изменения расхода потока рециркуляции с коррекцией по перепаду давления в реакторе. Способ реализован с использованием цифрового регулятора на управляющем компьютере и позволяет производить очистку газа при изменении его расхода в пределах 10 %.

Определены диагностические параметры, характеризующие предаварийные и аварийные ситуации. На основе этих параметров синтезированы алгоритмы сигнализации, остановки или аварийной остановки без участия оператора.

Библиографические ссылки

1. **Исмагилов Ф.Р., Вольцов А.А., Аминов О.Н. и др.** Экология и новые технологии очистки сероводородсодержащих газов / Уфа: Экология, 2000. 214 с.
2. **Исмагилов Ф.Р., Гайнуллина З.А., Плечев А.В. и др.** / Вариант окислительной утилизации сероводород-

содержащих газов // Химия и технология топлив и масел. 2001. № 2. С.10–12.

3. **ПБ09-540-03.** Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.

4. **Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Веревкин А.П. и др.** / Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа // М.: Химия, 2005. С. 576–581.

5. **Дорф Р., Бишоп Р.** Современные системы управления / Пер. с англ. Б.И. Копылова. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.

6. **Сафин Р.Р., Гайнуллина З.А., Исмагилов Ф.Р., Плечев А.В.** / Усовершенствование процесса прямого окисления сероводородсодержащих газов в кипящем слое катализаторов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2000. № 9. С.47–50.

7. **Сафин Р.Р., Исмагилова З.Ф., Гайдукевич В.В. и др.** / Контроль и регулирование псевдооживленного слоя катализатора // Экология промышленного производства. 2001. № 4. С.17–19.

УДК 004.415.2

С.В. Мкртычев, канд. техн. наук, доц.

(Открытое акционерное страховое общество «АСтрО-Волга», г. Тольятти)

sm4602@rambler.ru

ЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЁТА БЛАНКОВ СТРОГОЙ ОТЧЁТНОСТИ В СТРАХОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Рассмотрен подход к разработке логической модели подсистемы автоматизированного учёта бланков строгой отчётности в страховой деятельности на основе модели обработки учётно-аналитической информации в одноперевальном производстве.

Ключевые слова: логическая модель, подсистема автоматизированного учёта, бланк строгой отчётности, страховая деятельность, одноперевальное производство.

Approach to logical model creature of the automatic account subsystem for strict accountability in the insurance activity from a processing model of account-analytical information in the one repartition production is considered.

Key words: logical model, automatic account subsystem, strict accountability form, insurance activity, one repartition production.

Оборот бланков полисов и квитанций, относящихся к категории бланков строгой отчётности (БСО), является одной из составных частей производственного документооборота современной страховой компании [1].

Динамичное развитие обязательного страхования гражданской ответственности владельцев транспортных средств (ОСАГО) и перспектива создания единого страхового информационного пространства обусловили необходимость жёсткой регламентации и эффективного контроля использования БСО в страховой деятельности, которые,

как показывает практика, обеспечиваются путём интеграции в ИТ-инфраструктуру страховой компании подсистемы автоматизированного учёта (ПАУ) БСО [2].

Однако существует ряд факторов, осложняющих применение стандартных решений для достижения указанной цели. Так, учёт БСО в отличие от других видов оперативного страхового учёта организован на основе модели баланса товарно-материальных ценностей на складе.

Вместе с тем движения БСО, обеспечивающие реализацию страховых услуг, связаны преимуще-

ственно с бизнес-процессами заключения и переоформления договоров страхования, управление которыми, принимая во внимание специфику исследуемой предметной области, на момент внедрения ПАУ БСО может быть организовано средствами уникальной страховой автоматизированной информационной системы (САИС), спроектированной под задачи конкретной компании.

В этой связи актуальна разработка ПАУ БСО на основе подхода, обеспечивающего простоту её интеграции с САИС компании.

В концепции процессно-ориентированного подхода к построению и развитию автоматизированных систем управления ключевой считается стадия логического моделирования, базирующаяся на принципах объектно-ориентированного анализа и проектирования [3].

При этом созданная в виде набора UML-диаграмм логическая модель внедряемой подсистемы рассматривается как связующее звено между реализуемой ею новой функциональностью и эксплуатируемой в компании специализированной информационной системой.

Следует отметить, что наиболее ответственным этапом логического моделирования является определение шаблона для проектирования будущей модели, что особенно важно для страховой отрасли, отличающейся низким уровнем стандартизации и как следствие ограниченным выбором типовых бизнес-моделей.

Данная проблема может быть решена на основе онтологического подхода, в частности, методом переноса типовой модели-аналога из другой предметной области, обоснованного результатами структурно-функционального анализа внедряемой подсистемы [4].

Так, в качестве шаблона для логического моделирования ПАУ БСО выбрана модель обработки

учётно-аналитической информации в технологическом процессе производства попередельного типа [5].

Предлагаемое решение основано на возможности описания процессов обработки договора страхования с позиций концептуально-логистического подхода, как технологических процессов попередельного производства, ориентированных на поток БСО, роли реальных мест хранения в обороте которого играют агенты и клиенты страховой компании (рис. 1).

По аналогии с простым попередельным производством в процессе обработки договора страхования не регистрируются переходящие остатки используемых БСО.

При этом каждый бланк в концепции классического складского учёта представляет собой отдельную номенклатурную позицию, для которой справедливо следующее выражение:

$$C_{\text{ок}} = C_{\text{он}} + \text{ЕСЛИ}(C_{\text{он}} = 1; 0; 1) - \text{ЕСЛИ}(C_{\text{он}} = 1; 1; 0),$$

где $C_{\text{он}}$, $C_{\text{ок}}$ – остатки БСО на реальном складе на начало и конец процедуры обработки договора страхования, принимающие значение 0 или 1.

Таким образом, для представления информации об остатках бланков достаточно ввести в состав свойств объекта-склада БСО атрибут, характеризующий статус использования бланка, который устанавливается или сбрасывается при выполнении операций учёта движений БСО.

Следует также отметить, что при заключении или переоформлении договора страхования состояние задействованных в этих процессах бланков полисов подвергается регламентированным изменениям в соответствии с приведённым ниже

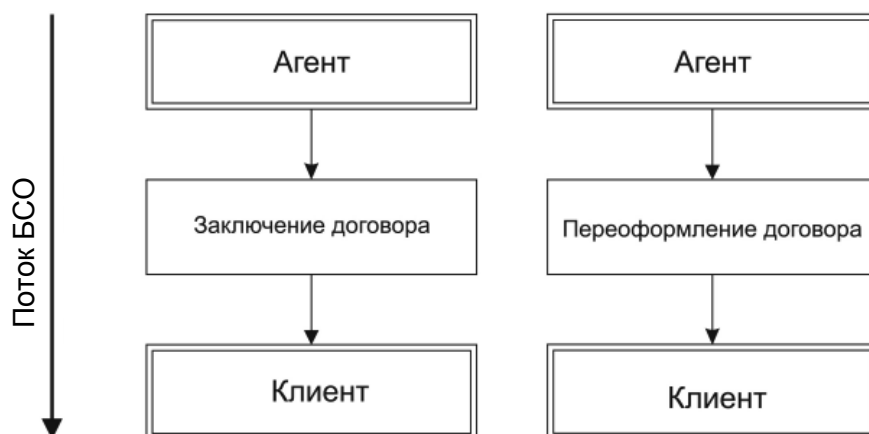


Рис. 1. Логистические цепи процессов обработки договора страхования

| Событие | Состояние |
|--|---------------------|
| Получение бланка со склада БСО компании | Находится у агента |
| Выдача бланка клиенту при заключении или изменении условий договора страхования | Находится у клиента |
| Утрата силы бланком вследствие его замены новым бланком при изменении условий или досрочном прекращении договора страхования | Утратил силу |

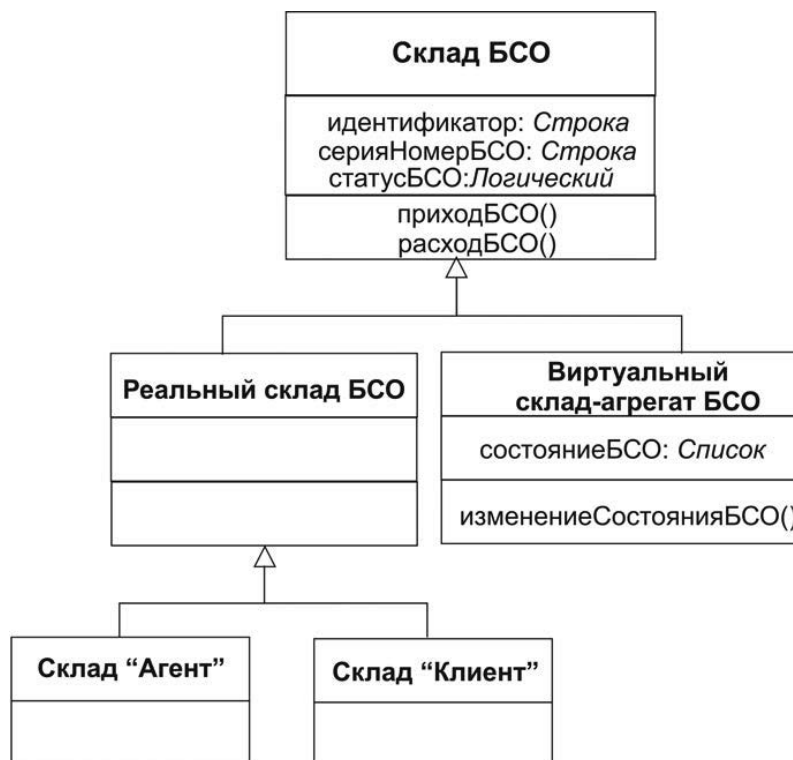


Рис. 2. Модель наследования типов объектов подсистемы автоматизированного учёта бланков строгой отчётности

фрагментом таблицы жизненного цикла БСО, выполняющей в рассматриваемом случае функции технологической карты [6].

Как известно, одним из базовых компонентов логической модели информационной системы предприятия является спецификация используемых в ней объектов, в которой они описываются как потомки того или иного класса элементов производственных систем: складов, агрегатов или их комбинаций.

Исходя из изложенного выше объекты ПАУ БСО, представляющие собой переделы процессов обработки договоров страхования, позиционируются как виртуальные склады-агрегаты, а при составлении их спецификации применена многоуровневая модель наследования типов объектов (рис. 2).

На заключительной стадии логического моделирования целесообразно провести исследование спецификаций логических моделей внедряемого и базового программного обеспечения страховой компании на предмет наличия в них общих объектов. Это позволит определить возможный уровень интеграции проектируемой подсистемы с САИС и предложить эффективный способ его достижения.

Напомним, что бизнес-процессы оборота БСО являются обеспечивающими по отношению к бизнес-процессам ведения договоров страхования. Поэтому объекты описанной логической модели ПАУ БСО должны присутствовать в представлении любой отвечающей современным требованиям и спроектированной в архитектуре «клиент-сервер» САИС, в том числе в виде эле-

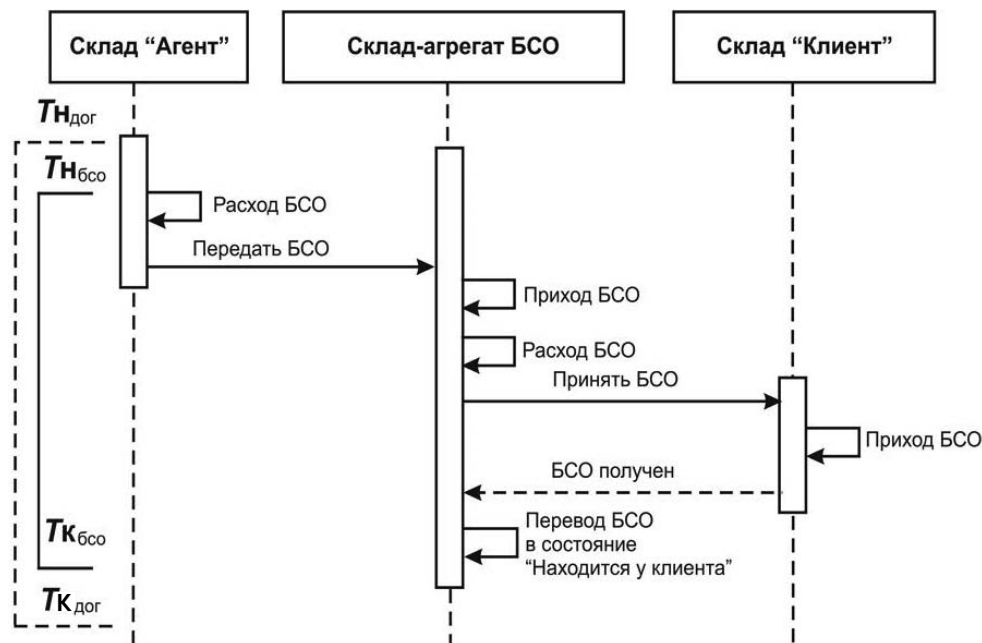


Рис. 3. Диаграмма последовательности процедуры заключения договора страхования:

$T_{н\ дог}$, $T_{к\ дог}$, $T_{н\ бсо}$, $T_{к\ бсо}$ – метки начала и конца транзакций обработки договора страхования и изменения состояния бланка строгой отчётности соответственно

ментов реляционной модели данных и бизнес-логики. В этом случае наиболее оптимальным представляется построение серверной части ПАУ БСО на платформе САИС, например путём добавления в структуру её базы данных таблиц и связей, необходимых для поддержки требуемой функциональности и обеспечения свойственной учётным системам высокой степени нормализации данных. Бизнес-логика учёта БСО, выполняемая в процессе обработки договора страхования, может быть реализована с помощью механизма вложенных транзакций на уровне хранимых процедур корпоративного сервера баз данных в соответствии с показанной на рис. 3 диаграммой последовательности [7].

Таким образом, использование единой модели данных, реализованной в рамках промышленной СУБД, позволит упростить процесс интеграции ПАУ БСО с САИС без существенной доработки программного кода приложений.

Кроме того, очевидным достоинством описанной логической модели является возможность создания независимых инструментов проверки бизнес-правил и гибкой настройки методов и свойств её базовых объектов и как следствие повышение надёжности внедряемой подсистемы и её адаптивности к изменяющимся условиям страховой деятельности.

ПАУ БСО, разработанная на основе предлагаемого в статье подхода и интегрированная в корпоративную информационную систему страховой

компании, обеспечила автоматизацию учёта бланков полисов ОСАГО в соответствии с требованиями регулирующих органов и действующей нормативно-правовой базой по данному виду страхования [8].

Библиографические ссылки

1. Кварандзия А., Андреева Н., Казыльский М. ИТ и страховой учёт // Страховой случай. 2007. № 9 (19). С. 16–21.
2. Мкртычев С.В. Автоматизированные информационные системы в страховании: учеб.-метод. пос. Тольятти: ТГУ, 2008. 94 с.
3. Волчков С., Балахонова И. Бизнес-моделирование для совершенствования деятельности промышленного предприятия // КомпьютерПресс. 2001. № 11/CD.
4. Тарасов А.Ф., Лябик О.А. Онтологический подход к построению логических моделей программных систем // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. 2006. № 1Е (6). С. 51–54.
5. Мкртычев С.В. Визуальная модель автоматизированной системы учёта товарно-материальных ценностей в технологических процессах // Автоматизация и современные технологии. 2004. № 2. С. 9–12.
6. Дубова Н. Автоматизация для ОСАГО // Открытые системы. СУБД. 2006. № 6. С. 54–57.
7. Вишневский А.В. Microsoft SQL Server. Эффективная работа. СПб.: Питер, 2008. 541 с.
8. Мкртычев С.В. АИС «СМ-Полис (ОСАГО)». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008613468, 2008.

УДК 681.5

Ю.П. Кирин, канд. техн. наук, **А.В. Затонский**, канд. техн. наук, доц., **В.Ф. Беккер**, канд. техн. наук, доц., **Н.В. Бильфельд**, канд. техн. наук, доц. (Березниковский филиал Пермского государственного технического университета, г. Березники Пермского края)

zxenon2000@yandex.ru

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОГО ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Изложена методология построения позиционных систем управления, обеспечивающих эффективное функционирование процессов восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана в условиях неполной априорной информации о динамике процессов. Рассмотрены особенности технологических процессов как объектов управления. Описаны методы синтеза и анализа оптимального позиционного управления процессами.

Ключевые слова: титан, производство, оптимальное управление.

Positional control systems designing methodology is stated that provide the efficient functioning of the spongy titan restoration and vacuum separation in the presence of not full a priori information about processes dynamics. Technological processes features, as controlled objects, are considered. Synthesis and analysis methods for optimum positional control are described.

Key words: titan, production, optimum control.

Введение. Процессы восстановления тетраоксида титана магнием и последующей вакуумной сепарации составляют основу промышленного производства губчатого титана. После восстановления в реакторе остаётся спекшийся блок реакционной массы в виде титановой губки, пропитанной основными примесями (магнием и хлоридом магния). Последние имеют достаточно высокое давление паров и при нагревании под вакуумом испаряются, а затем конденсируются в специальном устройстве (конденсаторе). Процессы осуществляются в аппаратах периодического действия. Конструкция аппаратов восстановления и сепарации предусматривает разделение рабочего объёма каждого аппарата на зоны нагрева (аппарат сепарации), нагрева и экзотермической реакции (аппарат восстановления). Характерная особенность таких систем, как объектов управления, состоит в поддержании позиционными регуляторами в каждой зоне нагрева (зоне реакции) определённой температуры с требуемой точностью. Температура зон нагрева аппаратов восстановления и сепарации регулируется притоком электрической энергии, поступающей от нагревателей, а температура зоны экзотермической реакции — оттоком тепловой энергии посредством создаваемого вентилятором воздушного охлаждения [1].

Системы позиционного регулирования температуры процессов восстановления и сепарации работают в режиме автоколебаний, параметры которых зависят от условий функционирования, восстановления и сепарации и изменяются при изменении нагрузок производства. Вопросы повышения качества позиционного управления тем-

пературным режимом процессов восстановления и вакуумной сепарации исследованы недостаточно, что существенно снижает технико-экономические показатели производства губчатого титана. Поэтому совершенствование систем управления температурным режимом процессов является одной из актуальных задач производства губчатого титана [1].

Оптимальное позиционное управление как способ повышения эффективности функционирования технологических процессов. Одним из путей решения указанных задач является создание нового класса систем автоматизации производства губчатого титана — оптимальных позиционных систем управления температурным режимом процессов восстановления и вакуумной сепарации [2]. Такие системы управления должны удовлетворять двум основным требованиям. С одной стороны, необходимо, чтобы они с высокой точностью поддерживали заданные значения температуры для обеспечения стабильности технологических режимов процессов восстановления и сепарации. С другой стороны, для интенсификации процессов и сокращения их длительности эти системы должны за счёт улучшения качества управления обеспечивать повышение в допустимых пределах заданных значений температуры, так как на практике задания регуляторам температуры назначают значительно ниже теоретически возможных значений.

При производстве губчатого титана необходимо осуществлять большое количество операций, выполняемых с участием технолога — лица, принимающего решение (ЛПР).

Так, например, особенность организации производства губчатого титана предполагает знание ситуаций функционирования (СФ) процессов восстановления и вакуумной сепарации [3]: лимитирующих стадий процесса восстановления, положений зоны экзотермической реакции по высоте аппарата восстановления, условий передачи тепла из зоны экзотермической реакции в зоны нагрева аппарата восстановления, стадий и момента окончания процесса вакуумной сепарации, режима охлаждения конденсатора аппарата сепарации.

Определение СФ технологических процессов и принятие оперативных решений в режиме реального времени действующего производства осуществляет ЛПР, используя свои знания, опыт, интуицию. Однако во многих случаях знаний и интуиции у опытного ЛПР бывает недостаточно для однозначной оценки конкретной СФ и принятия адекватного решения. В результате ошибки ЛПР происходит снижение производительности технологических процессов и качества губчатого титана, повышение энергозатрат.

В связи с этим необходимо разработать информационные системы, обеспечивающие повышение эффективности действий ЛПР (поддержку принятия решений) за счёт идентификации СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации в позиционных системах.

Особенности технологических процессов и систем управления производства губчатого титана. Перечисленные ниже особенности производства существенно затрудняют разработку систем оптимального управления [4].

Изменчивость параметров аппаратов восстановления и сепарации. В процессе эксплуатации реакторы удлиняются, уменьшается толщина их стенок, изнашивается футеровка печей, в условиях агрессивных сред снижается мощность нагревателей.

Нестационарность и нелинейность процессов как объектов управления. На объекты управления действуют неконтролируемые переменные возмущения, вызванные изменением теплофизических характеристик реакционной массы, её структуры, состава и конфигурации, изменением тепла экзотермической реакции восстановления тетрахлорида титана магнием и потребляемого тепла при вакуумной очистке губчатого титана от примесей магния и хлорида магния. Статические и динамические характеристики зон нагрева и зоны реакции различны на разных стадиях процессов, характер их изменения не подчиняется какому-либо определённому закону.

Многомерность объектов управления обусловлена многозонной системой нагрева ап-

парата сепарации и многозонными системами нагрева и охлаждения аппарата восстановления со значительным числом взаимосвязанных, распределённых по временным и пространственным координатам входных и выходных величин.

В динамике (в реальных условиях эксплуатации) отсутствует априорная информация о форме и степени связи выходных величин аппаратов с соответствующими входными величинами, которая одновременно учитывала бы влияние на выходные величины тепловых режимов соседних зон и неконтролируемых возмущений.

Нелинейность систем управления. При существующем аппаратурном оформлении процессов восстановления и сепарации исполнительными механизмами служат релейные элементы (контакторы, пускатели, клапаны, дозаторы), которые имеют два рабочих положения (включено – выключено). Это обстоятельство предопределило позиционный принцип управления технологическими процессами. Автоматизация осуществлена на базе нелинейных систем управления, в которых заданные значения температуры поддерживают двухпозиционные регуляторы. Рабочие режимы регулирования температуры в нелинейных системах – сложные автоколебательные процессы, характеризующиеся асимметрией автоколебаний и остаточной неравномерностью, т. е. имеет место ошибка регулирования, величина и знак которой меняются случайным образом в ходе каждого единичного процесса восстановления и вакуумной сепарации.

В целом можно считать, что процессы восстановления и вакуумной сепарации являются многомерными, многосвязными нестационарными нелинейными объектами, а системы управления этими объектами – многомерными многосвязными нестационарными нелинейными системами управления [4].

Изложенные выше особенности производства губчатого титана свидетельствуют о сложности процессов восстановления и сепарации как объектов управления и в целом характерны для управления и оценки состояния систем в условиях неопределённости и нестационарности.

Методология синтеза и анализа оптимального позиционного управления технологическими процессами. Существующие методы синтеза и анализа позиционных систем регулирования [5] разработаны применительно к сравнительно простым стационарным объектам управления. Динамические свойства объектов предполагаются заранее известными. Рабочие режимы позиционных систем регулирования – установившиеся автоколе-

бания. Основные задачи синтеза и анализа систем позиционного регулирования состоят в том, чтобы по заданному дифференциальному уравнению или передаточной функции объекта определить параметры установившихся автоколебаний и выяснить, как их можно изменить в соответствии с предъявляемыми к объекту управления требованиями.

Динамические свойства процессов восстановления и вакуумной сепарации априори неизвестны [4]. Позиционные системы управления такими объектами работают в переходных режимах, которые характеризуются автоколебаниями сложной формы с переменными параметрами. При этом должно обеспечиваться улучшение качества управления (снижение амплитуды автоколебаний), т. е. эффективное функционирование технологических объектов в условиях изменения их динамических свойств и действия неконтролируемых возмущений. Известные методы теории позиционного регулирования неприемлемы для решения этой проблемы [5]. Поэтому требуется дальнейшее развитие теории позиционного регулирования и разработка на её основе методов синтеза и анализа систем оптимального позиционного управления технологическими процессами в условиях неполной априорной информации об их динамике. Предлагаемая методология включает следующие основные этапы [6].

Построение математических моделей динамики процессов восстановления и вакуумной сепарации. На данном этапе определяют структуры и параметры математических моделей технологических процессов, которые рассматривают как нестационарные объекты первого порядка с самовыравниванием или без него, описываемыми дифференциальными уравнениями с переменными коэффициентами. Процессы позиционного управления температурой (автоколебательные режимы) для каждой из моделей динамики описывают соответствующей системой конечных уравнений, связывающих параметры автоколебаний и неизвестные коэффициенты математических моделей. Разрабатывают методы решения систем конечных уравнений (алгоритмы идентификации), с помощью которых по измеренным значениям параметров автоколебаний вычисляют неизвестные коэффициенты моделей динамики объектов (постоянные времени, коэффициенты усиления, запаздывания, возмущения). Проверяют адекватность математических моделей динамики реальным технологическим процессам.

Синтез оптимальных позиционных систем управления процессами восстановления и вакуумной сепарации. С применением математических

моделей динамики и систем конечных уравнений формулируют задачи оптимального позиционного управления технологическими процессами, выбирают критерии качества управления и ограничения. Разрабатывают алгоритмы функционирования и структуры позиционных систем управления температурой в зависимости от задач оптимального управления (комбинированная, адаптивная, импульсная), определяют оптимальные настроечные параметры позиционных систем. Предварительно оценивают качество позиционного управления по результатам имитационного моделирования и аналитических расчётов. При положительных результатах включают позиционную систему управления.

Построение математических моделей, описывающих СФ технологических процессов. Нестационарность и нелинейность технологических процессов отражаются на режимах функционирования позиционной системы управления, которые, как уже отмечалось, характеризуются автоколебаниями температуры сложной формы с переменными параметрами. В данном случае используются указанные выше математические модели, в которых СФ отслеживают по изменению возмущающих воздействий: выделяемого тепла экзотермической реакции восстановления тетрахлорида титана магнием, потребляемого тепла на вакуумную очистку губчатого титана от примесей магния и хлорида магния. С применением моделей составляют аналитические описания автоколебательных режимов, характеризующие СФ технологических процессов. Проводят качественный анализ автоколебательных режимов для установления текущих СФ и проверяют адекватность математических моделей реальным СФ.

Синтез информационных систем поддержки управления технологическими процессами. Разрабатывают алгоритмы идентификации СФ технологических процессов в позиционных системах управления. При этом параметры автоколебаний температуры служат идентификационными признаками для определения СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации. Результаты идентификации используются в АСУТП для информационной поддержки ЛПР при определении текущих СФ технологических процессов, а также для разработки систем автоматического управления СФ [7].

Заключение. Создание и внедрение оптимальных позиционных систем управления температурным режимом процессов восстановления и вакуумной сепарации улучшили технико-экономические показатели производства губчатого титана [8]: повысилась производительность процес-

сов, улучшилось качество губчатого титана, снизились энергозатраты, увеличился срок службы технологического оборудования. Предложенные подходы можно применять для синтеза и анализа позиционного управления сложными технологическими объектами в различных отраслях промышленности.

Библиографические ссылки

1. **Тарасов А.В.** Металлургия титана. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 328 с.
2. **Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Бильфельд Н.В.** Синтез оптимальных систем управления процессами магнитоэлектрического получения губчатого титана // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-14: Сб. тр. 14-й Междунар. науч. конф. Смоленск: СФ МЭИ, 2001. Т.2. С. 89–91.
3. **Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Бильфельд Н.В.** Анализ динамики позиционных систем управления процессами производства губчатого титана // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-18: Сб. тр. 18-й Междунар. науч. конф. Казань: КГТУ, 2005. Т. 10. С. 84–86.
4. **Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Краев С.Л.** Идентификация технологических процессов производства губчатого титана // Проблемы управления. 2008, № 4. С. 71–77.
5. **Кампе-Немм А.А.** Автоматическое двухпозиционное регулирование. М.: Наука, 1967. 160 с.
6. **Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Бильфельд Н.В.** Методология анализа и синтеза позиционного управления нестационарными технологическими объектами // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-19: Сб. тр. 19-й Междунар. науч. конф. Воронеж: ВГТА, 2006. Т.6. С. 121–123.
7. **А.с. 1033558 СССР.** Система автоматического управления процессом вакуумной сепарации губчатого титана / Ю.П. Кирин, А.И. Черепанов, Ю.А. Протасов и др. Открытия, изобретения. 2000. № 4.
8. **Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Бильфельд Н.В.** Современные направления совершенствования и развития производства губчатого титана // Титан. 2003. № 2(13). С. 11–16.



СТАЛИ И СПЛАВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ. СПРАВОЧНИК

С.Б. Рыжов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общ. ред. С.Б. Рыжова

960 с. ISBN: 978-5-217-03446-8

Цена 5000 р.

Справочник содержит данные о более чем 300 материалах, используемых в отечественной тепловой, атомной и гидроэнергетике и является унифицированным по номенклатуре включенных в него сведений.

В нем дается краткая характеристика основного оборудования электростанций, изложены материаловедческие проблемы в энергетике, описаны системы маркировки сталей, сплавов и чугунов, технологические и специальные свойства материалов, главные требования к ним, методы необходимого контроля, анализа и прогнозирования таких свойств.

В табличной форме рассмотрены сведения о химическом составе материалов, его механических свойствах, твердости и пластичности в зависимости от размера поковки и режимов термообработки, параметры ковочных, литейных свойств и обрабатываемости резанием, характеристики свариваемости, флокеночувствительности, отпускной хрупкости, данные по релаксационной стойкости, длительной прочности, ползучести, жаростойкости и коррозионной стойкости – всего по более чем 100 параметрам.

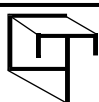
Описаны системы маркировки отечественных и зарубежных энергетических сталей и сплавов. Изложены требования к материалам, методы контроля и методики их испытаний. Кратко описаны способы прогнозирования долгосрочных свойств материалов.

Приведена информация о более 700 зарубежных материалах, близких по химическому составу, назначению и свойствам к отечественным.

Данные сопровождаются ссылками на соответствующие источники, откуда они взяты (ГОСТ, ОСТ, ТУ, техническая литература).

Предназначен как для конструкторов, технологов, материаловедов и других специалистов тепловой, атомной и гидроэнергетики, так и для работников всех отраслей промышленности, он может быть полезен для преподавателей, аспирантов и студентов технических вузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU



УДК 001.891.57

В.Л. Белоусов, д-р экон. наук, проф., **Д.Н. Суров**
(Московский государственный университет приборостроения и информатики)

ZavLab@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

Рассматривается возможность моделирования процесса управления научными исследованиями, используя методологию моделирования IDEF0. Указанная методология позволяет формализовать данный процесс в графическом и табличном виде. Эта формализация является основой для создания реляционной базы данных с последующей автоматизацией представленного процесса.

Ключевые слова: управление научными исследованиями, научно-исследовательская работа, техническое задание, моделирование процессов.

Control process modeling possibility of the scientific researches control process by using modeling methodology IDEF0 is considered. This methodology allows given process to formalize in the graphic and tabular type. This formalization represents basis for relational data base creature with subsequent presented process automation.

Key words: scientific researches control, research work, technical task, processes modeling.

С развитием технологий все больше внимания уделяется управлению научными исследованиями. При этом научное исследование можно рассматривать как бизнес-процесс, подобно которому оно нацелено на получение результата в установленные сроки с использованием выделенных ресурсов. В рамках процесса управления научными исследованиями необходимо решать такие задачи, как:

- выявление «узких» мест и нахождение путей их ликвидации;
- оптимизация отдельных этапов и всего процесса в целом;
- отслеживание сроков выполнения в соответствии с календарными планами;
- управление загрузкой персонала;
- контроль над осуществлением процесса в соответствии с ГОСТ 15.1.101–98.

Основой для моделирования процесса управления научными исследованиями являются техническое задание (ТЗ) и календарный план проведения научно-исследовательской работы (НИР). ТЗ содержит:

- обоснование проведения НИР;
- сведения о головном исполнителе и соисполнителях НИР;
- цели выполнения НИР и основные требования к её выполнению;
- техничко-экономические показатели, которые должны быть получены в результате выполнения НИР;

перечень этапов, содержание выполняемых работ, а также сроки их выполнения и стоимость каждого этапа;

предполагаемое использование результатов НИР;

порядок сдачи-приёмки НИР.

Процесс выполнения НИР проводится на основе календарного плана проведения НИР согласно п. 4.4 ГОСТ 15.1.101–98.

Процесс управления научными исследованиями можно представить в виде модели. При этом модели могут быть текстовыми, математическими, табличными и графическими [1]. Каждый тип модели имеет как преимущества, так и недостатки и потому, как правило, используются смешанные типы. Для автоматизации управления научно-исследовательской работой предпочтительнее использовать табличную модель с последующим её переводом в реляционную базу данных.

Для большей сопряжённости табличного и графического вида модели столбцы можно сопоставить с элементами методологии IDEF0 семейства IDEF (ICAM Definition), основанной на подходе SADT (Structured Analysis and Design Technique – технология структурного анализа и проектирования) и разработанной Дугласом Т. Россом в начале 1970-х гг. в рамках программы интегрированной компьютерной поддержки производства ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing)

[2]. Основным объектом диаграммы процессов в нотации IDEF0 является объект Activity, представляющий собой блок в виде четырёхугольника, обозначающего функцию (работу, действие, операцию). Каждую функцию можно рассматривать в качестве некоторого процесса. На верхнем уровне каждый процесс может быть рассмотрен как “чёрный ящик”. Функция именуется глаголом или отглагольным существительным, характеризующим действие, производимое над объектом.

Блоки размещаются на диаграмме в соответствии с принципом доминирования – более важный (с точки зрения автора) или более ранний в процессе занимает верхний левый угол, а менее важный или последний – правый нижний.

Другой основной составляющей стандарта IDEF0 являются стрелки. Стрелка именуется существительным, характеризующим статус объекта. Каждой стороне четырёхугольника (функции) соответствует определённый тип стрелок (всего 5 типов):

Вход (Input) – материальные ресурсы или информация, используемые и преобразуемые работой. Изображается в виде стрелки, входящей в левую грань четырёхугольника. Работа может не иметь ни одного входа;

Управление (Control) – информационные потоки (нормативные документы, стандарты, ТЗ), регламентирующие выполнение работ. Изображается в виде стрелки, входящей в верхнюю грань четырёхугольника. Работа должна иметь хотя бы одно управляющее воздействие;

Выход (Output) – готовая продукция или информация, получаемые в результате работы. Изображается в виде стрелки, выходящей из правой грани четырёхугольника. Работа должна иметь хотя бы один выход;

Механизм (Mechanism) – персонал, инфраструктура (информационные системы, оборудование), выполняющие работу. Изображается в виде стрелки, входящей в нижнюю грань четырёхугольника. Работа может не иметь ни одного механизма;

Вызов (Call) – специальная стрелка, указывающая на другую работу, выполняемую за пределами моделируемой системы.

Для более эффективной работы с граничными стрелками на диаграмме их подписывают первыми буквами от названия первых четырёх типов (Input, Control, Output, Mechanism) – так называемый ICOM-код.

Моделирование процессов в нотации IDEF0 начинается с создания контекстной (главной) диаграммы (рис. 1), которая описывает деятельность организации или процесса в целом.

На контекстной диаграмме изображается только одна функция, далее она декомпозируется (детализируется) на её составляющие. На одной диаграмме может быть не менее трёх и не более шести функций. С каждой стороны в функцию могут входить и выходить не более шести стрелок.

Для отображения передачи ресурсов или информации от одной функции к другой используются связи. Существуют три прямые и две обратные связи.

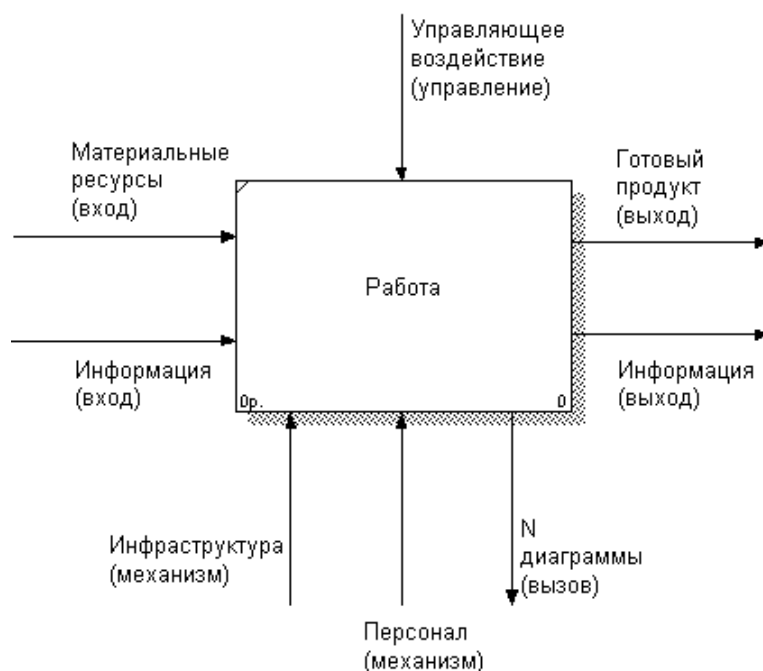


Рис. 1. Формирование модели процесса



Рис. 2. Главная диаграмма модели процесса

Формализованная модель научно исследовательских работ

| Работа | Функция | Вход | Выход |
|--------|---|---|---|
| A0 | Управление научными исследованиями | — | Отчёт о выполнении НИР |
| A0–1 | Выбор направления исследования | — | Промежуточный отчёт о выборе направления исследования |
| A0–2 | Теоретические и экспериментальные исследования поставленных перед НИР задач | Промежуточный отчёт о выборе направления исследования | Промежуточный отчёт о выборе направления исследования |
| A0–3 | Обобщение и оценка результатов исследований | Промежуточный отчёт о проведенных исследованиях | Отчёт о выполнении НИР |

Связь по входу — готовый продукт, произведённый на предыдущей работе, используется как ресурс в последующей работе.

Связь по управлению — готовый продукт, произведённый на предыдущей работе, используется как управляющее воздействие для последующей работы.

Связь выход-механизм — готовый продукт, произведённый на предыдущей работе, используется как инструментальный в последующей работе.

Обратная связь по входу — используется для описания циклов или корректировки, переработки продукта.

Обратная связь по управлению — используется для корректировки или дополнения управляющего воздействия в предыдущей работе после реализации и анализа последующей работы.

Главная диаграмма и первый уровень декомпозиции модели в нотации IDEF0 представлена на

рис. 2 и 3 соответственно, а их табличный вариант в таблице.

Для автоматизации управления необходимо выполнить декомпозицию работ A0–1, A0–2, A0–3 и дополнить таблицу столбцами «Механизм», «Управление», «Длительность» (в статье таблица не приводится из-за её значительного размера). Ячейки «Вход», «Механизм», «Выход» следует сделать двойными, в первой части ячеек можно указать название ресурса и наименование продукта с единицами их измерения, а во второй части — дать количественную оценку. Зная, сколько требуется ресурсов для изготовления единицы продукта, по заданному выходу можно определить общий объём ресурсов. Столбец «Управление» содержит информацию по регламентирующим документам: техническому заданию и календарному плану. Столбец «Длительность» заполняется в соответствии с календарным планом.



Рис. 3. Дочерняя диаграмма модели процесса

Очевидно, что связи в таблице можно распознать, как одноимённые стрелки, выходящие из одних работ и входящие в другие. Так, для решения задачи автоматизации, связь по входу «Результаты исследований» (рис. 3), возможно записать в формате «ОА2IA3». То есть, связь из выхода (O – Output) работы A2 (сокращенная форма записи работы A0–2) на вход (I – Input) работы A3 (сокращённая форма записи работы A0–3).

Для оптимизации управления бюджетом целесообразно использовать функционально-стоимостный анализ. Данный метод анализа построен на калькуляции центров затрат (в таблице столбцы «Вход» и «Механизм»). Для автоматизации управления затратами возможно воспользоваться как собственными решениями, так и программным обеспечением сторонних разработчиков, например программным продуктом ВИП-Костинг компании «ВИП Анатех» [3].

Проведение моделирования процесса управления научными исследованиями на основе модели

бизнес-процессов обеспечивает по каждому этапу планирование работ, контроль их исполнения, а также анализ материальных затрат в целом и по каждой работе отдельно. С учётом того, что используемая документация разработана по ГОСТ 15.101–98, обеспечиваются практически все виды исследований. Это позволяет проводить моделирование процесса управления научными исследованиями различными НИР по единой схеме, использовать универсальную документацию и одинаковый подход к процедурам их проведения.

Библиографические ссылки

1. **Калянов Г.Н.** Моделирование, анализ, реорганизация и автоматизация бизнес-процессов. М.: Финансы и статистика, 2006. 240 с.
2. **Черемных С.В., Ручкин В.С., Семенов И.О.** Моделирование и анализ систем: IDEF-технологии. М.: Финансы и статистика, 2002. 192 с.
3. **Ивлев В.А., Попова Т.В.** ABC/ABM/ABB – методы и системы. М.: IC-Публишинг, 2004. 192 с.

Вниманию авторов!

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

УДК 519.711.3

В.К. Иванов, канд. техн. наук, доц.

(Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола)

ivladko1@rambler.ru

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ**

Рассмотрено моделирование производственной системы с учётом оборудования и деталей, квалификации специалистов, а также заданного технологического процесса. Поставлена задача выбора рациональных параметров системы и предложен метод её решения.

Ключевые слова: технологические возможности, математическое моделирование, основная задача управления, технико-экономические требования, критерии качества, оптимизация, рациональные параметры.

Production system modeling taking into account equipment and details, personnel qualification as well as given technological process is considered is introduced. Selection task of the system efficient parameters is defined and its decision method is proposed.

Key words: technological possibilities, mathematical modeling, control basic task, technical and economic requests, optimization, efficient parameters.

Введение. Технологические возможности предприятия в основном зависят от вида оборудования и квалификации производственного персонала, а они в свою очередь зависят от конкретного вида продукции, выпускаемой на предприятии. При решении задачи структурной перестройки необходимо получить ответ на вопрос: может ли данное предприятие производить и выпускать заданную продукцию и в каком количестве в единицу времени [1].

Для ответа требуется информация, которая зависит от постановки задачи:

каковы показатели работы производственной системы при заданных входных значениях параметров и характеристик этой системы (задача моделирования). При этом определяются принципиальная возможность производства заданного изделия на конкретном предприятии, время и стоимость изготовления заданного количества изделий, количество изделий, которое предприятие может изготовить за заданное время, резервы производства по оборудованию и специалистам;

каковы должны быть параметры производственной системы, при которых критерии качества системы удовлетворяют заданным техническим условиям (задача проектирования, синтеза).

Основная часть. Комплекс средств, разработанных для моделирования, содержит базу данных по видам и типам оборудования, специалистов и деталей.

Для работы с системой вводят следующую информацию:

стоимость работы S_k оборудования k -го вида;

стоимость работы S_m специалистов m -го вида; количество F_k оборудования k -го вида, которым располагает предприятие;

количество L_m специалистов m -го вида на предприятии;

необходимое количество n_p деталей p -го вида, время T_p изготовления деталей p -го вида, время обработки F_k^p детали p -го вида на оборудовании k -го вида и время обработки L_m^p детали p -го вида специалистом m -го вида;

а также требуется сетевой график технологического процесса.

Результатом моделирования являются:

время T_p и стоимость S_p выпуска деталей каждого вида;

время работы и простоя оборудования k -го вида и специалистов m -го вида;

полное время и стоимость выпуска всей партии деталей;

возможный выпуск деталей каждого вида N_p .

Результаты решения задачи моделирования для технологического процесса, представленного на рисунке, приведены в табл. 1 – 4 для следующих исходных данных:

стоимости работы оборудования – $S_1 = 100$ руб./ч, $S_2 = 200$ руб./ч; имеющегося количества оборудования – $F_1 = 5$ станков, $F_2 = 1$ станок; стоимости работы специалистов – $S_1 = 100$ руб./ч, $S_2 = 100$ руб./ч, $S_3 = 200$ руб./ч, имеющегося количества специалистов – $L_1 = 1$, $L_2 = 1$, $L_3 = 1$; необходимого количества деталей – $n_1 = 50$ шт., $n_2 = 5$ шт., $n_3 = 50$ шт., $n_4 = 5$ шт., $n_5 = 1$ шт.; времени изготовления необходимого количест-

ва деталей p -го вида – $T_1 = 0,5$ ч, $T_2 = 0,1$ ч, $T_3 = 0,05$ ч, $T_4 = 0,1$ ч, $T_5 = 1$ ч.

Введены множества: K^p – все виды оборудования, необходимого для производства продукции p -го вида, M^p – все виды специальностей, необходимых для выпуска продукции p -го вида, P^p – продукция p -го вида. Тогда $K^p = \{k_1, k_2\}$, где k_1 соответствует фрезерным станкам типа Ф-1, а k_2 – фрезерным станкам типа Ф-2; $M^p = \{m_1, m_2, m_3\}$, m_1 соответствует токарю 6-го разряда, m_2 – слесарю механосборочных работ, m_3 – слесарю-универсалу; $P^p = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}$, p_1 соответствует корпусным деталям типа К-1, p_2 – телам вращения типа ТВ-3, p_3 – мелким деталям типа МД-4, p_4 – корпусным деталям типа К-2, p_5 – узлам и сборкам типа УС-1.

При составлении технологического процесса указываются величины:

$F_1^3 = 0,31$ станко-ч/шт., $F_2^4 = 0,64$ станко-ч/шт., $L_1^2 = 0,25$ чел.-ч/шт., $L_2^1 = 0,72$ чел.-ч/шт., $L_3^5 = 0,84$ чел.-ч/шт.

Постановка и решение задачи выбора рациональных параметров производственной системы связаны с решением основной задачи управления (задачей аналитического проектирования) [2].

Компоненты вектора управления $\omega = \{S_k, F_k, S_m, L_m, n_p, T_p\}$ выбираются из области, заданной в соответствии с технико-экономическими требованиями:

$$\begin{aligned} a_{1k} &\leq S_k \leq A_{1k}; \\ a_{2k} &\leq F_k \leq A_{2k}; \\ a_{3m} &\leq S_m \leq A_{3m}; \end{aligned} \tag{1}$$

$$a_{4m} \leq L_m \leq A_{4m};$$

$$a_{5p} \leq n_p \leq A_{5p};$$

$$a_{6p} \leq T_p \leq A_{6p}.$$

В качестве критериев $I[\omega]$ выбраны суммарное время T и стоимость S изготовления всей партии деталей, а также количество деталей каждого вида N_p , изготавливаемых за заданное время. На них также наложены ограничения, которые представляют собой технические условия:

$$0 \leq T[\omega] \leq D_1;$$

$$0 \leq S[\omega] \leq D_2; \tag{2}$$

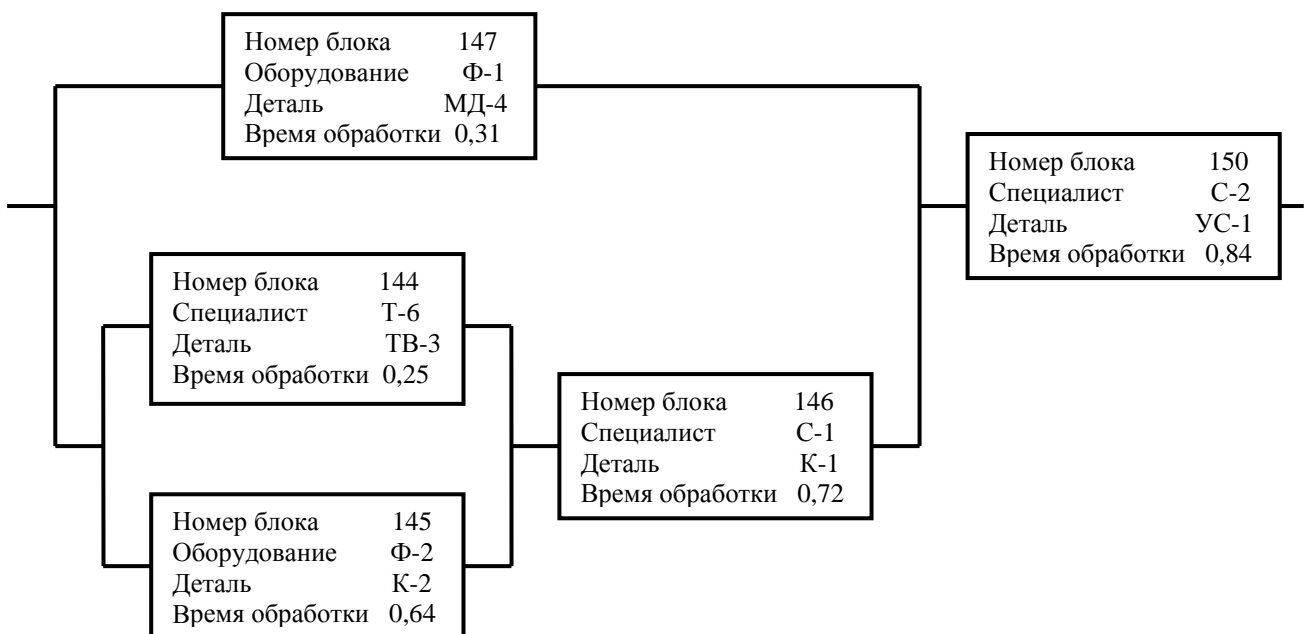
$$d_{3p} \leq N_p[\omega] \leq D_{3p}.$$

Постановка задачи. Среди допустимых значений вектора управляющих параметров (1) найти такие, при которых результаты решения задачи моделирования удовлетворяют заданным техническим условиям (2). Метод решения задачи такого типа заключается в следующем.

Вводятся безразмерные функционалы $\gamma_\eta[\omega]$, оценивающие удаление значений $I_\eta[\omega]$ от своих границ в технических условиях (2) в виде

$$\gamma_\eta'[\omega] = \frac{D_\eta - I_\eta[\omega]}{D_\eta - d_\eta}, \gamma_\eta''[\omega] = \frac{I_\eta[\omega] - d_\eta}{D_\eta - d_\eta}, \eta = \overline{1, \theta},$$

где $\theta = 7$.



Технологический процесс изготовления узла, состоящего из пяти деталей

Таблица 1

Промежуточные результаты

| Код | Тип детали | Время, ч | Стоимость, руб. |
|------|-------------|---------------|-----------------|
| К-1 | БА8.021.155 | $T_1 = 35,80$ | $S_1 = 3580,0$ |
| ТВ-3 | БА8.483.107 | $T_2 = 1,23$ | $S_2 = 123,5$ |
| МД-4 | БГ8.034 | $T_3 = 3,12$ | $S_3 = 312,0$ |
| К-2 | БГ8.020 | $T_4 = 3,21$ | $S_4 = 963,0$ |
| УС-1 | ГС6.119.240 | $T_5 = 0,84$ | $S_5 = 167,4$ |

Таблица 2

Загруженность оборудования

| Код | Тип оборудования | Время работы, ч | Время простоя, ч | Стоимость работы, руб. |
|-----|------------------|-----------------|------------------|------------------------|
| Ф-1 | 2623ПМФ4 | 3,12 | 36,73 | 312,00 |
| Ф-2 | 2611ПМФ4 | 3,21 | 36,64 | 963,00 |

Таблица 3

Загруженность специалистов

| Код | Тип специалистов | Время работы, ч | Время простоя, ч | Стоимость работы, руб. |
|-----|--------------------------------|-----------------|------------------|------------------------|
| Т-6 | Токарь 6-го разряда | 1,23 | 38,62 | 123,50 |
| С-1 | Слесарь механо-сборочных работ | 35,80 | 4,05 | 3580,00 |
| С-2 | Слесарь-универсал | 0,84 | 39,01 | 167,40 |

Окончательные результаты: полное время $T = 39,85$ ч; полная стоимость $S = 5145,90$ руб.

Таблица 4

Возможный выпуск деталей каждого типа (в штуках)

| Код | Тип детали | N_{1p} | N_{2p} | N_p |
|------|-------------|----------|----------|-------|
| К-1 | БА8.021.155 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| ТВ-3 | БА8.483 | 0,08 | 0,00 | 0,08 |
| МД-4 | БГ8.034 | 0,02 | 0,00 | 0,02 |
| К-2 | БГ8.020 | 0,03 | 0,00 | 0,03 |
| УС-1 | ГС6.119.240 | 0,00 | 1,19 | 1,19 |

Очевидно, что при выполнении технических условий все значения $\gamma_{\eta}[\omega] < 1$, в противном случае, хотя бы одно значение $\gamma_{\eta}[\omega] > 1$. Затем рассчитывают число

$$\Gamma_0 = \min_{\omega} \max_{\eta} \gamma_{\eta}[\omega]$$

и проверяют условие $\Gamma_0 \leq 1$. Если оно выполняется, то основная задача управления имеет решение, и найденное значение ω^* является рациональным. При необходимости можно решить задачу оптимизации по одному из критериев. Если $\Gamma_0 > 1$, то основная задача управления решения не имеет. В этом случае необходимо изменять технико-экономические требования (1) или технические условия (2), т. е. решить задачу формирования рациональных технических условий [3].

Заключение. Разработанная система автоматизации позволяет выбрать рациональные параметры производственной системы, при которых будут удовлетворяться заданные технические условия на показатели качества.

Библиографические ссылки

1. **Сиразетдинов Т.К.** Динамическое моделирование экономических объектов. Казань: ФЭН, 1996. 224 с.
2. **Сиразетдинов Т.К.** Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем. М.: Машиностроение, 1988. 160 с.
3. **Иванов В.К.** Об автоматическом поиске оптимальных технических условий // Оптимизация процессов в авиационной технике. Казань: КАИ, 1980. Вып. 3. С. 67–70.

УДК 519.8

А.А. Колоколов, д-р физ.-мат. наук, проф. (Омский филиал Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН), **А.Г. Лукьянов** (ФГУП Омский НИИ приборостроения)

lukyanov@mail.ru

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОДНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Исследованы задачи планирования мелкосерийного производства сложных изделий на основе дискретной оптимизации. Построена модель целочисленного линейного программирования, разработаны эвристические алгоритмы решения задачи, в том числе алгоритмы муравьиной колонии и локального поиска, проведён вычислительный эксперимент.

Ключевые слова: планирование производства, математическая модель, эвристические алгоритмы.

Planning task decisions of the complex articles small-scale production from a discrete optimization are investigated. Integer linear programming model is constructed, heuristic algorithms for task decision are devised and including algorithm of the ant colony and local search, computing experiment is carried out.

Key words: production planning, mathematical model, heuristic algorithms.

Введение. В настоящее время в мелкосерийном производстве сложных изделий применяются системы [1], обеспечивающие высокое качество принимаемых решений, сокращающие расход ресурсов и время на изготовление изделий, повышающие эффективность труда специалистов. Вместе с тем в указанных разработках недостаточно применяются модели и методы оптимизации, что во многих случаях приводит к перебору и сравнению большого количества вариантов, а полученное решение может быть далеким от оптимального.

На предприятиях криогенного машиностроения в процессе производственного планирования возникают ситуации, связанные с проблемой недоста-

точной загрузки оборудования или, наоборот, перегрузки мощностей. Ошибка, допущенная при планировании, может повлечь серьёзные штрафные санкции, так как в реальности невозможно выполнить работы по договорам в установленные сроки. В частности, актуальной является проблема загрузки мощностей таким образом, чтобы выполнять все полученные заказы в минимальный срок. Для решения подобных задач представляется перспективным использование теории расписаний, моделей и методов дискретной оптимизации [2–4].

Постановка задачи и модель целочисленного линейного программирования. Рассматриваемая задача планирования мелкосерийного производства

сложных изделий возникла на одном из машиностроительных предприятий. Краткие сообщения об её исследовании опубликованы в работах [5, 6].

Предположим, что имеется портфель заказов на производство изделий с директивными сроками их выполнения. Каждое изделие состоит из множества деталей и сборочных единиц (ДСЕ), состав которых определяется конструкторско-технологической документацией. При этом они могут состоять из других, более мелких ДСЕ. Для производства ДСЕ известен набор операций, заданный технологическим процессом.

При планировании учитываются следующие ограничения:

все операции выполняются непрерывно;

каждая операция имеет директивный срок выполнения;

станки имеют графики работы и индивидуальные перерывы, связанные с плановыми ремонтами, профилактикой;

операции распределены по типам в зависимости от вида и сложности их выполнения;

для каждого станка задан набор операций, которые на нём можно выполнить;

станки имеют показатели производительности для каждого типа операций.

Необходимо составить расписание выполнения операций на станках при указанных условиях так, чтобы общее время выполнения всех заказов было минимальным. Для рассматриваемой задачи в работе [5] представлена модель целочисленного линейного программирования (ЦЛП).

Рассматривается портфель заказов, включающий m операций, которые требуется выполнить в определённой последовательности на n станках. Отметим, что здесь и далее $i=1, \dots, m$, $j=1, \dots, n$, $k=1, \dots, m$. Для построения модели ЦЛП используются следующие обозначения: v_i – нормативное время выполнения операции i ; d_i – директивный срок операции i ; q_{ij} – коэффициент эффективности, равный отношению времени выполнения операции i на станке j к нормативному времени выполнения операции i ; B – множество перерывов, состоящее из пар (i, j) , где i – операция, являющаяся перерывом на станке j ; C_i – время начала перерыва i ; $G=\langle V, E \rangle$ – ориентированный граф с множеством вершин V и дуг E ; H – достаточно большое число, которое равно суммарному времени выполнения всех операций на худших станках.

Множество вершин соответствует операциям, а множество дуг определяет очередность выполнения операций в соответствии с технологическим процессом.

Введём переменные задачи: f – время выполнения портфеля заказов; x_{ik} , y_{jk} – булевы переменные; T_{ijk}^F , T_{ijk}^S – вещественные переменные.

Рассмотрим произвольную перестановку всех операций. Тогда $x_{ik}=1$, если операция i стоит на месте k в указанной перестановке, $x_{ik}=0$ – иначе. Переменная $y_{jk}=1$, если операция, стоящая на месте k в указанной перестановке, выполняется на станке j , $y_{jk}=0$ – иначе. T_{ijk}^F , T_{ijk}^S – время начала и окончания операции i на станке j , если она будет на месте k в указанной перестановке.

Тогда модель ЦЛП можно записать в виде:

$$f \rightarrow \min$$

$$T_{ijk}^F \leq f, \quad i, k = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; \quad (1)$$

$$\sum_i x_{ik} = 1, \quad i = 1, \dots, m; \quad (2)$$

$$\sum_k x_{ik} = 1, \quad k = 1, \dots, m; \quad (3)$$

$$\sum_j y_{jk} = 1, \quad k = 1, \dots, m; \quad (4)$$

$$T_{ijk}^F \geq T_{ijk}^S + v_i q_{ij} (x_{ik} + y_{jk} - 1), \quad i, k = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; \quad (5)$$

$$T_{i,j,k+1}^S \geq T_{rjk}^F - H(2 - x_{rk} - y_{jk}), \quad i, r = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m - 1; \quad (6)$$

$$T_{i,j,k+1}^S \geq T_{ijk}^S, \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m - 1; \quad (7)$$

$$\sum_{h \leq k} (x_{rh} - x_{ih}) \geq 0, \quad (r, i) \in E; k = 1, \dots, m; \quad (8)$$

$$T_{i,j,k+1}^S \geq T_{ruk}^F - H(2 - x_{rk} - y_{uk}), \quad (r, i) \in E; j, u = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m - 1; \quad (9)$$

$$T_{ijk}^F - H(1 - x_{ik}) \leq d_i, \quad i, k = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; \quad (10)$$

$$T_{ijk}^S \geq C_i x_{ik}, \quad (i, j) \in B; k = 1, \dots, m; \quad (11)$$

$$T_{ijk}^S - H(1 - x_{ik}) \leq C_i, \quad (i, j) \in B; k = 1, \dots, m; \quad (12)$$

$$T_{ijk}^F \leq H, \quad i, k = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; \quad (13)$$

$$f, T_{ijk}^S, T_{ijk}^F \in R^+; x_{ik}, y_{jk} \in \{0, 1\}; i, k = 1, \dots, m;$$

$$j = 1, \dots, n.$$

Целевая функция равна времени выполнения портфеля заказов, которое требуется минимизировать. Условие (1) означает, что все операции должны быть закончены ко времени выполнения портфеля заказов. Равенства (2) и (3) гарантируют, что операции будут назначены, а ограничение (4) — что для каждой операции будет выбран станок. Неравенство (5) определяет время окончания операции T_{ijk}^F . Ограничения (6) и (7) отражают выполнение последовательности операций на станке. Условия (8) и (9) обеспечивают соответствие выполнения операций технологическому процессу. Ограничение (10) требует выполнения директивных сроков. Неравенства (11) и (12) означают, что все перерывы будут соблюдаться. Условие (13) показывает, что все операции выполняются за время H .

Оптимальное решение, полученное с помощью данной модели, можно преобразовать в план производства следующим образом. Для каждой операции i находим такой момент k , что $x_{ik} = 1$. Затем определяем станок, выбранный в момент k ($y_{jk} = 1$) и находим по известным (i, j, k) время начала T_{ijk}^S и окончания T_{ijk}^F операции.

Данная модель позволяет найти точное решение задачи. Однако задача является NP-трудной, а реальные задачи имеют большую размерность (несколько сотен тысяч и более переменных). Поэтому для решения рассматриваемой задачи предлагаются эвристические алгоритмы.

Варианты «жадного» алгоритма. Сначала был разработан вариант «жадного» алгоритма $G1$, основанный на представлении операций в виде ориентированного графа, являющегося деревом, разбитым на уровни, которые задают очерёдность размещения операций на станках. Для учёта директивных сроков некоторые поддеревья должны быть сдвинуты на более низкие уровни относительно поддеревьев с более поздними директивными сроками. В предложенном алгоритме на станки в первую очередь назначались операции листьев дерева, а в конце — корень дерева. Таким образом, получалась последовательность распределения операций по станкам.

В алгоритме $G1$ операции назначались на станки таким образом, чтобы время окончания очередной операции было минимальным. При определении времени начала учитывался момент окончания операций, предшествующих данной

по технологическому процессу, и момент окончания выполнения уже распределённых по станкам операций, а также индивидуальные перерывы работы станков. Трудоёмкость этого алгоритма равна $O(nm)$.

Затем на основании дерева операций был построен алгоритм GR [6], в котором каждой вершине i приписан вес, равный её нормативному времени выполнения, что позволило определить расстояние от любой вершины до корня дерева, не разбивая дерево на уровни. Выбор наиболее удалённой вершины задавал последовательность распределения операций по станкам. Также предложено следующее преобразование: список допустимых станков для операции определять случайно, найти в нём лучший станок по времени окончания операции. Таким образом, несколько раз запустив алгоритм, можно получить ряд решений и выбрать из них лучшее.

Алгоритм локального поиска. Для рассматриваемой задачи (1)–(13) построен алгоритм локального поиска LS [7]. Множеством решений X задачи являлась совокупность всех распределений операций по станкам и очерёдности их выполнения. Решение $x \in X$ представлялось в виде матрицы, каждой строке которой соответствовал станок, а элементу — операция для этого станка. Например, $x_{jk} = i$, если операция i распределена на станок j и выполняется k -й по очереди на данном станке, если же на станке j нет такой операции, то $x_{jk} = 0$.

После получения решения осуществлялись следующие преобразования:

перемещение операции на любое другое место;

перестановка двух произвольных операций местами.

Начальное текущее решение выбиралось случайно, но было допустимым, т. е. при выполнении операций не возникало взаимной блокировки, так как для них задан частичный порядок. Например, такое решение можно получить после первой итерации алгоритма GR . После того как с текущим решением были проведены описанные преобразования, выбиралось наилучшее решение и оно становилось текущим. Затем снова проводились преобразования и так далее, до тех пор, пока не было найдено решение, из которого с помощью указанных преобразований невозможно получить лучшее.

Данный алгоритм рассматривает окрестность точек мощности порядка $O(m^2)$. Для каждой точки проверяется допустимость и вычисляется значение целевой функции за $O(nm)$ операций, т. е. одна итерация алгоритма имеет трудоёмкость $O(nm^3)$, которая невелика для размерностей $n \sim 100$, а $m \sim 10\,000$ существенна. Поэтому луч-

ше переходить из текущего решения не в наилучшее, а в первое улучшающее решение, что может существенно сократить время исследования окрестности.

Алгоритм муравьиной колонии. Идея алгоритмов данного типа состоит в моделировании поведения муравьёв, связанного с их способностью быстро находить наилучший (в некотором смысле) путь от муравейника к источнику пищи и адаптироваться к изменяющимся условиям. При движении муравей метит пройденный путь специальным веществом (феромоном) и эта информация используется другими муравьями для выбора направления пути. Такое поведение муравьёв можно рассматривать как оптимизационный процесс, в котором каждый муравей вносит небольшой вклад в поиск оптимального пути.

В алгоритмах муравьиной колонии рассматривается множество так называемых искусственных муравьёв, которые моделируют основные моменты поведения муравьёв при поиске источника пищи. На каждой итерации алгоритма искусственные муравьи, используя определённые вероятностные процедуры, стремятся построить близкие к оптимальному допустимые решения задачи дискретной оптимизации. В процессе построения этих решений накапливается полезная информация, которая может рассматриваться аналогом феромона природных муравьёв. Алгоритм муравьиной колонии АС представляет собой вероятностную, «жадную» эвристику, в которой вероятности событий устанавливаются исходя из информации о качестве полученных ранее решений [7, 8].

Задача (1)–(13) может быть интерпретирована как назначение операций на станки и определение очередности выполнения операций таким образом, чтобы время изготовления изделий было минимальным с учётом перерывов и технологического процесса. Для решения данной задачи разработан алгоритм муравьиной колонии.

В алгоритме искусственные муравьи при построении решения используют две матрицы $F^1 = (f_{ik}^1)$ и $F^2 = (f_{ik}^2)$, где f_{ik}^1 – уровень феромона при переходе между операциями i и k , $i = 1, \dots, m-1$, $k = 1, \dots, m$, для $i = 0$ – уровень феромона для выбора первой операции, а f_{ij}^2 – уровень феромона при выборе станка j для операции i , $i = 1, \dots, m-1$, $j = 1, \dots, n$. На каждой итерации алгоритма искусственные муравьи могут действовать, используя информацию об уровне феромона или выбирать любую допустимую операцию или станок с равной вероятностью. Это определяется параметром $q > 0$: если случайная величина $s > 0$ больше q , то искусственный муравей при

поиске использует информацию об уровне феромона, иначе – случайный выбор. При выборе операций параметр q равен q^1 , а для станков равен q^2 . Операция считается допустимой, если все предшествующие ей по технологическому процессу операции уже распределены.

Следующая после i операция по уровню феромона выбирается следующим образом:

$$V_i = \arg \max_k \{ (f_{ik}^1)^\alpha (t_k + 1)^\beta \mid k = 1, \dots, m \},$$

где t_k – минимальное время начала операции k (чем оно меньше, тем более предпочтительна операция k); $\alpha > 0$, $\beta < 0$ – управляющие параметры, отражающие влияние уровня феромона и минимального времени начала операции на выбор искусственного муравья.

Номер станка для операции i по уровню феромона определяется по формуле

$$\omega_i = \arg \max_j \{ (f_{ij}^2)^\eta (s_j + 1)^\mu \mid j = 1, \dots, n \},$$

где s_j – время окончания последней назначенной на станок j операции (чем оно меньше, тем предпочтительнее станок j); $\eta > 0$, $\mu < 0$ – управляющие параметры, описывающие влияние на выбор искусственного муравья уровня феромона и времени освобождения станка.

В начальный момент времени всем элементам матриц F^1 и F^2 присваиваются значения g_0^1 и g_0^2 . Затем искусственные муравьи начинают последовательно перемещаться. Количество искусственных муравьёв, используемых в алгоритме, равно числу листьев в дереве операций. При переходе каждого искусственного муравья между операциями и распределении их по станкам уменьшается количество феромона на величины δ_-^1 и δ_-^2 , что соответствует испарению феромона в природе. В результате получается несколько решений, из которых выбирается лучшее по значению целевой функции и пути искусственного муравья, получившего это решение, увеличивается количество феромона на δ_+^1 и δ_+^2 .

Алгоритм муравьиной колонии завершает работу при достижении определённого числа итераций. Лучшее решение поступает на вход локального поиска, с помощью которого получается окончательный результат.

При реализации алгоритма выбирались значения управляющих параметров: величины q^1 и q^2 влияют на скорость работы алгоритма (выбирались близкими к 0); α , β , η , μ определялись постепенно по мере накопления информации при решении тестовых задач. Величины g_0^1 и g_0^2 были

Таблица 1

Относительная погрешность алгоритмов по целевой функции, %

| Алгоритм | Число операций в задаче m | | |
|----------|-----------------------------|-----|-----|
| | 10 | 20 | 30 |
| | G1 | 17 | 15 |
| GR | 12 | 4,5 | 3,8 |
| AC | 3 | 3 | 4 |
| LS | 4,5 | 3 | 3,5 |

значительно больше δ^1_+ и δ^2_+ , а δ^1_- и δ^2_- — значительно меньше δ^1_+ и δ^2_+ , которые зависели от размерности задачи и количества искусственных муравьёв.

Вычислительный эксперимент. Рассмотренные алгоритмы реализованы и апробированы в вычислительном эксперименте, цель которого выявить алгоритм с лучшими показателями точности и времени работы. В первой части эксперимента использовались тестовые задачи относительно небольшой размерности. Приближённые решения сравнивались с точным, полученным с помощью пакета прикладных программ *GAMS* (*General Algebraic Modeling System Compilation*) модуль *CPLEX*, вычислялась относительная погрешность алгоритмов по целевой функции в среднем. Результаты исследования для первой части приведены в табл. 1.

Во второй части эксперимента вычисления проводились для задач большой размерности, полученных на реальном производстве. При этом не ставился вопрос о поиске точного решения, так как его практически невозможно получить. Приближённые решения алгоритмов сравнивались между собой. Было установлено, на сколько процентов в среднем приближённое решение каждого алгоритма лучше, чем решение алгоритма *G1* (по значению целевой функции задачи). Результаты второй части исследований приведены в табл. 2.

На основе приведённого вычислительного эксперимента сделан вывод о том, что алгоритм локального поиска позволяет получать более точное решение по сравнению с алгоритмом *G1*. При этом время работы алгоритма *LS* больше времени, использованного алгоритмами *G1* и *GR*, но меньше, чем алгоритмом *AC*.

Таблица 2

Сравнение алгоритмов с «жадным» *G1*

| Алгоритм | Число операций в задаче m | | | | | |
|-----------|-----------------------------|----------|------|----------|------|----------|
| | 1000 | | 2000 | | 5000 | |
| | % | Время, с | % | Время, с | % | Время, с |
| <i>G1</i> | — | 1 | — | 1 | — | 1 |
| <i>GR</i> | 3 | 11 | 2,3 | 22 | 2,7 | 103 |
| <i>AC</i> | 6 | 21 | 4 | 268 | 3 | 3162 |
| <i>LS</i> | 6,3 | 17 | 4,6 | 198 | 3,2 | 2152 |

Заключение. Проведено исследование задачи планирования мелкосерийного производства сложных изделий. Разработаны математическая модель и эвристические алгоритмы, которые можно использовать для решения задач большой размерности. В дальнейшем предполагается улучшить предложенные алгоритмы и использовать их в системах управления предприятием, что позволит повысить производительность труда, сократить временные затраты на выпуск продукции, снизить влияние субъективного фактора.

Библиографические ссылки

1. Загидуллин Р.Р. Оперативно-календарное планирование в гибких производственных системах / Под ред. В.Ц. Зориктуева. М.: Изд-во МАИ, 2004. 208 с.
2. Конвей Р.В., Максвел В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. М.: Наука, 1975. 359 с.
3. Сотсков Ю.Н., Струсевич В.А., Танаев В.С. Математические модели и методы календарного планирования. Минск: Изд-во «Университетское», 1994. 232 с.
4. Pinedo M. Chao X. Operations Scheduling with Applications in Manufacturing und Services // Irwin/McGraw-Hill, 1999. 310 с.
5. Лукьянов А.Г., Ренев Д.Н. Об одной задаче дискретного производственного планирования. Проблемы оптимизации и экономические приложения. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. 184 с.
6. Лукьянов А.Г., Ренев Д.Н. О решении одной задачи дискретного производственного планирования. Динамика систем, механизмов и машин. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. С. 57–61.
7. МакКоннелл Дж. Основы современных алгоритмов. М.: Техносфера, 2004.
8. Колоколов А.А., Леванова Т.В., Лореш М.А. Алгоритмы муравьиной колонии для задач оптимального размещения предприятий // Омский научный вестник. 2006. № 4(38). С. 62–67.

УДК 004.451.9

Е.А. Болдина, В.В. Солдатов, д-р техн.наук, проф.
(Российский государственный аграрный заочный университет, г.Москва)

Alena471@yandex.ru

КОРРЕКЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К КОНТРОЛИРУЕМЫМ ВОЗМУЩЕНИЯМ

Рассмотрена эффективность метода коррекции управления по отношению к контролируемым возмущениям.

Ключевые слова: коррекция, контролируемые возмущения, системы управления.

Correction method efficiency relevant to controlled disturbance is considered.

Key words: correction, controlled disturbance, control systems.

Одна из главных задач среди решаемых разработчиками автоматических систем – повышение качества управления. Для этого эффективным средством может быть учёт информации о контролируемых воздействиях на систему управления, не относящихся к управляющим, но влияющим на качество управления (Шавров А.В. Показатель изменения управляющих воздействий в автоматических системах // Вестник сельскохозяйственной науки. 1991. № 8. С. 126 – 127).

Рассмотрим коррекцию управления по отношению к контролируемому возмущающему воздействию λ в замкнутых робастных системах, имеющих максимальное быстродействие (рис. 1). При этом статистические характеристики возмущения $\lambda(t)$ неизвестны и синтез корректирующего устройства приходится осуществлять на основании информации о динамике замкнутого контура управления.

При решении данной задачи выбирают передаточную функцию корректирующего устройства $W_{kp}(s)$ так, чтобы выполнялось тождество

$$W_{\lambda y}(s) \equiv 0, \quad (1)$$

где $W_{\lambda y}(s)$ – передаточная функция объекта по каналу действия возмущения $\lambda(t)$ на выходную величину $y(t)$.

Тождество (1) выполняется, если

$$W_{kp}(s) = \frac{W_{\lambda v}^{об}(s)}{W_{u\mu}^{об}(s)W_{per}(s)}, \quad (2)$$

где $W_{u\mu}^{об}$ и $W_{\lambda v}^{об}$ – передаточные функции объекта по каналам передачи; $W_{per}(s)$ – передаточная функция канала управления регулятора.

Чтобы корректирующее звено, синтезируемое согласно выражению (2), было технически реализуемо, канал передачи объекта $\lambda(t) \rightarrow v(t)$ должен

быть более инерционным, чем канал передачи $u(t) \rightarrow \mu(t)$. В этом случае степень полинома числителя передаточной функции (2) не превышает степени полинома её знаменателя.

Если корректирующее устройство с передаточной функцией (2) технически реализуемо, то его синтезируют в два этапа.

На первом этапе выбирается закон управления, т. е. определяется из тех или иных соображений тип регулятора и значения его параметров настройки.

На втором этапе, когда передаточная функция регулятора $W_{per}(s)$ уже известна, в соответствии с выражением (2) определяется передаточная функция корректирующего устройства.

Однако на практике синтез корректирующих устройств на основе выражения (2) оказывается невозможным, так как канал объекта, по которому действует возмущение $\lambda(t)$, является менее инерционным, чем канал передачи управляющих воздействий $u(t)$. Поэтому необходимо искать другие способы решения задачи коррекции управления по отношению к контролируемым возмущениям.

Рассмотрим один из подходов к решению данной проблемы, основанный на взаимном сокращении нулей числителя и доминирующих полюсов знаменателя передаточной функции $W_{\lambda y}(s)$, заданной выражением

$$W_{\lambda y}(s) = \frac{W_{\lambda v}^{об}(s) - W_{u\mu}^{об}(s)W_{per}(s)W_{kp}(s)}{1 + W_{u\mu}^{об}(s)W_{per}(s)}. \quad (3)$$

В этом случае на первом этапе, когда выбирается закон управления и определяются значения параметров настройки регулятора, необходимо использовать методы расчёта, целесообразность использования которых объясняется тем, что они позволяют определить не только значения парамет-

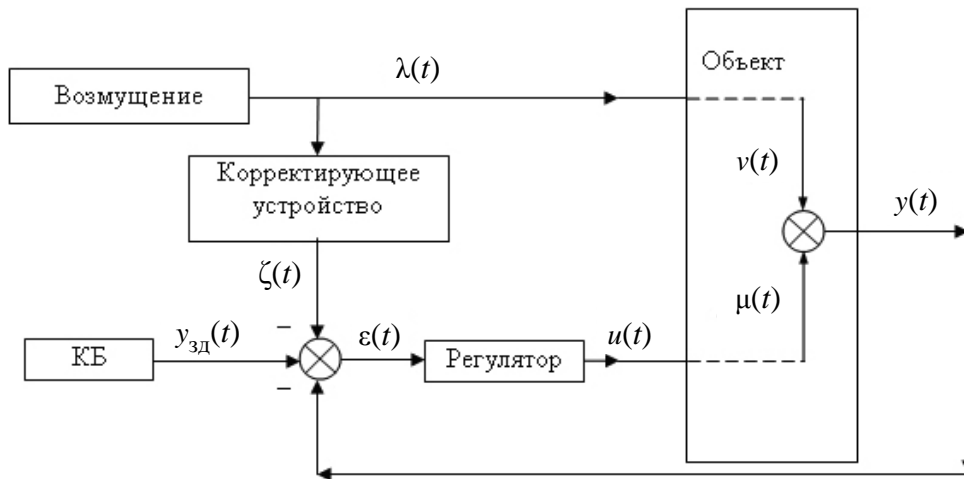


Рис. 1. Функциональная схема системы управления:

КБ – командный блок; $y_{зд}(t)$ – задающее воздействие; $\varepsilon(t)$ – ошибка управления; $\zeta(t)$ – сигнал коррекции; $u(t)$ – управляющий сигнал; $\mu(t)$ и $v(t)$ – реакция объекта на управляющее и возникающее воздействие

ров настройки выбранного регулятора, но и расположение доминирующих полюсов $s_k (k = \overline{1, n_d})$ замкнутой системы.

Поскольку для знаменателя передаточной функции (3) выполняются равенства

$$1 + W_{\mu}^0(s_k)W_{рег}(s_k) = 0, \quad k = \overline{1, n_d}, \quad \tau_k < \frac{1}{\eta}, \tag{5}$$

то для взаимного сокращения нулей и доминирующих полюсов системы числитель этой передаточной функции при $s = s_k, k = \overline{1, n_d}$ также должен обращаться в нуль.

Поэтому на втором этапе синтеза корректирующего устройства его передаточная функция $W_{кр}(s)$ запишется в виде

$$W_{кр}(s) = \frac{s}{(1 + \tau_k s)^{n_d}} \sum_{h=0}^{n_d-1} K_h s^h, \tag{4}$$

где $K_h, h = \overline{0, n_d-1}$ – параметры настройки корректирующего устройства; τ_k – заданная постоянная времени корректирующего устройства.

Ввиду того что степень полинома числителя передаточной функции (4) не превышает степени полинома её знаменателя, то синтезируемое корректирующее устройство технически реализуемо.

Так как после выполнения первого этапа синтеза расположение доминирующих полюсов системы становится известным, то получают определённые значения входящие в них величины η и m_{Π} , где η – величина абсолютного демпфирования (демпфирование, когда значение определяет

скорость затухания всех гармонических составляющих переходного процесса); m_{Π} – предельно допустимое значение величины.

В этом случае выберем значение постоянной времени τ_k , исходя из условия

выполнение которого гарантирует, что корректирующее устройство не будет существенно повышать инерционность канала передачи сигналов $\lambda(t) \rightarrow y(t)$, так как это привело бы к нежелательному затягиванию возникающих при изменениях возмущающего воздействия $\lambda(t)$ переходных процессов $y(t)$ на выходе системы.

Для иллюстрации эффективности метода синтеза корректирующего устройства, обеспечивающего повышение качества управления при действии на систему контролируемых возмущений, рассмотрим пример.

Пример. Предположим, что каналам передачи сигналов $u(t) \rightarrow \mu(t)$ и $\lambda(t) \rightarrow v(t)$ управляемого объекта соответствуют передаточные функции.

Для управления рассматриваемым объектом используется ПИ-регулятор.

Поскольку $\tau_1 - \tau_2 > 0$, то передаточная функция описывает технически нереализуемое устройство. Поэтому при синтезе корректирующего устройства будем использовать передаточную функцию (4).

На первом этапе синтеза необходимо выбрать подходящее значение постоянной времени τ_k . Для этого, полагая

$$m_{\Pi} = 0,313, \tag{6}$$

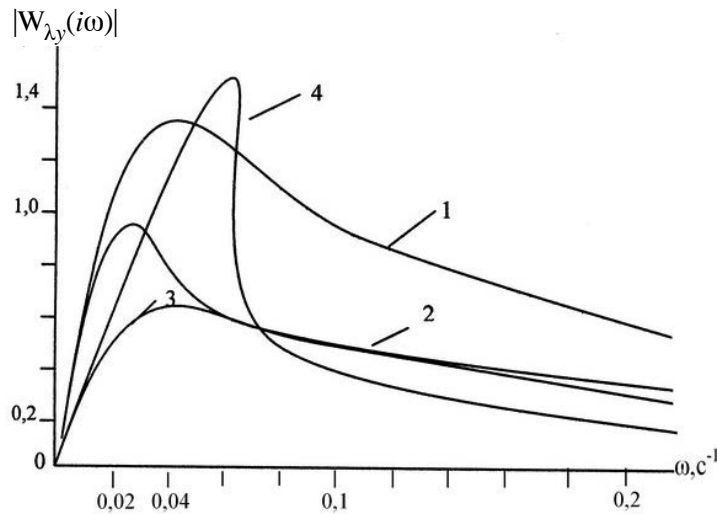


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики канала передачи сигналов $\lambda(t) \rightarrow v(t)$ при значениях постоянной времени τ_k :
 $\tau_k = 20$ с (1); $\tau_k = 30$ с (2); $\tau_k = 50$ с (3); без коррекции (4)

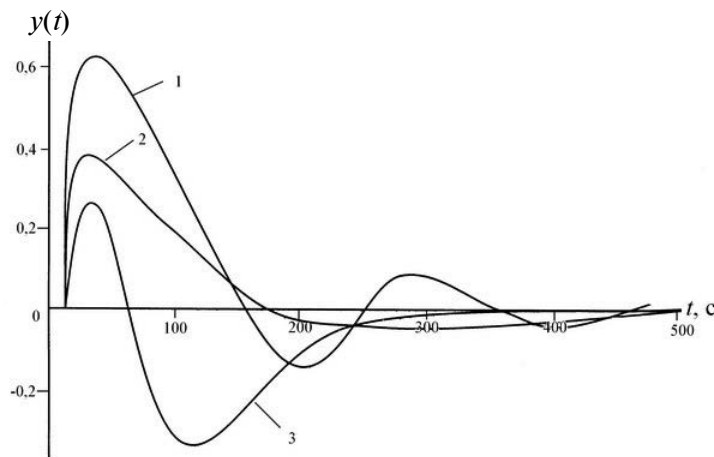


Рис. 3. Переходные процессы на выходе системы управления:
 без коррекции (1); $\tau_k = 50$ с (2); $\tau_k = 30$ с (3)

определим значения параметров настройки ПИ-регулятора, исходя из требований к расположению доминирующих полюсов системы.

В результате получим

$$K_p = 2,5310; T_{ин} = 94,209 \text{ с}, \tag{7}$$

где K_p – коэффициент передачи регулятора; $T_{ин}$ – постоянные времени интегрирования; причем

$$\eta = 0,0096914 \text{ с}^{-1}. \tag{8}$$

Так как из равенства (8) следует, что $1/\eta = 103,18$ с, то в соответствии с условием (5) для величины τ_k выберем значения, представленные в таблице.

Значения параметров настройки корректирующего устройства

| $\tau_k, \text{ с}$ | K_0 | $K_1, \text{ с}$ | $K_2, \text{ с}^2$ |
|---------------------|---------|------------------|--------------------|
| 20 | 100 286 | 2725,2 | 97,000 |
| 30 | 102 080 | 1,3652 | 2250,4 |
| 50 | 109 152 | -672,11 | 4,1448 |

На втором этапе синтеза, решив с учётом полученных равенств (6)–(8) и выбранных значений τ_k систему уравнений, определим искомые значения параметров настройки корректирующего устройства, которые также представлены в таблице.

График амплитудно-частотных характеристик канала передачи сигналов $\lambda(t) \rightarrow v(t)$ показан на рис. 2.

Как видно из рис. 2, применение корректирующего устройства позволяет уменьшить величину резонансного пика АЧХ канала передачи сигналов $\lambda(t) \rightarrow v(t)$, причём его минимальное значение достигается при $\tau_k = 30$ с. Однако в том случае, когда $\tau_k = 50$ с, значения АЧХ в области высоких частот меньше, чем при $\tau_k = 30$ с.

Для обоснованного выбора постоянной времени τ_k целесообразно исследовать возникающие на выходе системы управления при действии по каналу $\lambda(t) \rightarrow v(t)$ единичного ступенчатого возмущения $\lambda(t) = 1(t)$, переходные процессы $y(t)$ (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что минимальные значения выброса и длительности переходного процесса $y(t)$ достигаются при $\tau_k = 30$ с.

Поэтому значения параметров настройки корректирующего устройства устанавливаются

по данным таблицы согласно следующим равенствам:

$$\tau_k = 30 \text{ с}; K = 102\,080; K_1 = 1,3652 \text{ с};$$

$$K_2 = 2250,4 \text{ с}^2.$$

На основании этих расчётов можно сделать следующие выводы:

применение разработанного метода позволяет уменьшить длительность переходных процессов в системе управления, а также величину их выбросов;

для применения разработанного метода коррекции не требуется информация о статистических характеристиках корректируемых воздействий;

среди множества возмущающих воздействий, действующих на объект управления, для коррекции следует выбирать возмущение, наиболее влияющее на качество управляемого технологического процесса.



ЛИТЕЙНЫЕ ПРОТИВОПРИГАРНЫЕ ПОКРЫТИЯ: справочник

Н.И. Давыдов

Цена 440 р.

2009. – 240 с.: ил. ISBN: 978-5-94275-438-9

Систематизирован практический материал по литейным противопригарным покрытиям, используемым для получения качественных отливок.

Рассмотрена природа пригара (наиболее распространенного дефекта отливок) и дано обоснование эффективности применения покрытий как средства предотвращения указанного дефекта.

Описаны свойства покрытий и методы их испытаний, а также некоторые сведения о современных приборах и оборудовании, в том числе используемых за рубежом. Представлены справочные данные об исходных материалах и составах покрытий, рекомендуемых для изготовления в условиях потребителя, а также о марках, свойствах и области применения промышленно выпускаемых противопригарных композиций. Приведены сведения о покрытиях, используемых за рубежом. Дана необходимая информация, касающаяся оборудования для изготовления покрытий, а также технологии их нанесения и отверждения.

Для инженерно-технических работников литейного производства, может быть полезен аспирантам и студентам.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU



УДК 681.32.019.3

Ю.К. Фортинский, канд. техн. наук
(Воронежская государственная лесотехническая академия)

nilit1@rambler.ru

АУДИТ РЕАЛИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ В ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассмотрено математическое обеспечение аудита реализации специальных проектов и формирования данных для уточнения рейтинга предприятий-исполнителей.

Ключевые слова: аудит, проект, рейтинг предприятий, управление.

Mathematical and software of the special projects implementation audit and forming dates for enterprise-executor rating definition are considered.

Key words: audit, project, enterprise rating, management.

Введение. Для решения задачи аудита проектов разработки и производства микроэлектронных компонентов (МЭК) двойного применения предложены соответствующие методика, модель и алгоритм (Фортинский Ю.К. Автоматизация управления и проектирования в электронной промышленности. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т. 2007. 275 с).

Разработанные средства предназначены для оценки реализации текущих планов создания и производства МЭК на различных этапах выполнения. Для этого на предприятиях электронной промышленности (ЭП) проводится мониторинг состояния процессов выполнения текущих планов, данные о которых заносятся и передаются в общую базу данных (ОБД) координационного управления (КУ). Управление развития электронной компонентной базы (УРЭКБ) Министерства обороны (МО) и является основой для аудита.

Исходными данными для оценки хода реализации текущих планов специальных проектов на различных этапах выполнения являются: количество НИОКР, планируемых к выполнению за отчётный период (работы, включённые в государственный оборонный заказ (ГОЗ)), соответствующие работам государственного плана вооружений (ГПВ); планируемые сроки выполнения работ; планируемые значения основных характеристик МЭК, получаемых в результате выполнения НИОКР; планируемый объём финансирования НИОКР (по ГПВ); достигнутые в результате выполнения ОКР значения харак-

теристик МЭК; реальный объём финансирования НИОКР; количество завершившихся этапов и работ в целом; реальные сроки завершения работ.

В основу методики положен расчётно-аналитический метод сравнительного анализа исходной и конечной информации о ходе выполнения текущих планов.

Для оценки хода реализации программных документов предложены два варианта анализа: экспресс-анализ и полный анализ.

При *экспресс-анализе* проводится обобщение и анализ всех сведений, а также определение отклонения от идеального метода, вследствие чего принимается решение о переходе к полному методу.

Полный анализ позволяет оценивать ход реализации ГОЗ и ГПВ как по группам МЭК, так и в целом, что даёт возможность более глубоко отслеживать динамику выполнения планов. Предложенный алгоритм оценки хода реализации планов на различных этапах представлен на рис. 1 [1].

На основании исходных данных определяется коэффициент полноты выполнения работ:

$$k_{\text{раб}} = \frac{m}{M}, \quad (1)$$

где m – количество завершённых работ; M – количество работ, запланированных к завершению на анализируемом этапе.

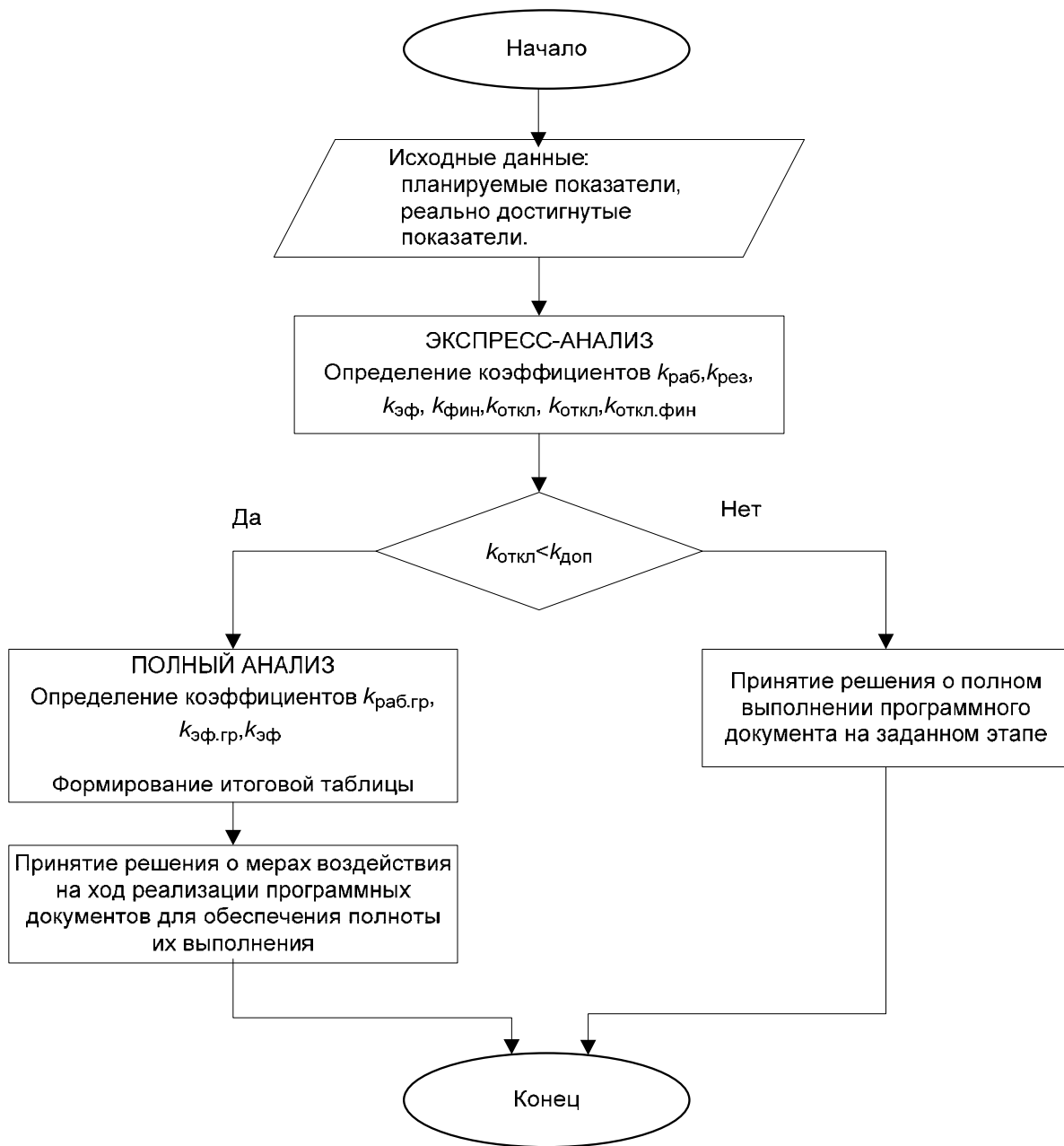


Рис. 1. Алгоритм оценки хода реализации планов на различных этапах выполнения

Затем рассчитывается коэффициент полноты достижения заданных характеристик на основе сравнения характеристик МЭК, полученных в результате выполнения работ, с запланированными результатами:

$$k_{рез} = \frac{\sum_{i=1}^m k_{резi}}{m}, \tag{2}$$

где $k_{резi}$ – коэффициент достижения результата отдельной работы.

Значение $k_{резi} = 1$, если полностью выполнено ТЗ и достигнуты заданные параметры; $k_{резi} = 0,65$, если работа принята, но по отдельным (не основным) параметрам не достигнуты заданные показатели; $k_{резi} = 0,3$, если работа принята, но по отдельным (важнейшим) параметрам не достигнуты заданные показатели.

Далее определяется интегральный коэффициент полноты выполнения работ за отчётный период $k_{эф}$ и коэффициент финансирования $k_{фин}$:

$$k_{эф} = k_{раб} k_{рез}; \tag{3}$$

$$k_{фин} = \frac{\sum_{i=1}^N S_{реал}}{\sum_{i=1}^N S_{план i}}, \tag{4}$$

где N – количество работ, запланированных в ГОЗ; $S_{план}$ – планируемый объём финансирования (по ГПВ); $S_{реал}$ – реальный объём финансирования (по ГОЗ).

Отклонения интегрального коэффициента полноты выполнения работ $k_{откл}$ и коэффициента полноты финансирования от идеального метода $k_{откл.фин}$ рассчитываются по формулам

$$k_{откл} = 1 - k_{эф}; \tag{5}$$

$$k_{откл.фин} = 1 - k_{фин}. \tag{6}$$

Данные коэффициенты определяют ход реализации текущих планов: если величина отклонения интегрального коэффициента полноты выполнения работ $k_{откл}$ больше допустимого $k_{доп}$, то принимается решение о полном выполнении планов на заданном этапе. Если величина отклонения интегрального коэффициента полноты выполнения работ $k_{откл}$ меньше допустимого $k_{доп}$, то принимается решение о выполнении планов в неполном объёме и переходе к методу полного анализа.

При полном анализе на основании исходных данных определяется реальное и планируемое финансирование отдельной группы МЭК:

$$Z_{реал j} = \sum_{i=1}^{M_j} S_{реал i}; \tag{7}$$

$$Z_{план j} = \sum_{i=1}^{M_j} S_{план i}, \tag{8}$$

где $S_{план i}$ – планируемое финансирование работы (по ГПВ); $S_{реал i}$ – реальное финансирование работы (по ГОЗ); M_j – количество работ в группе.

Коэффициент финансирования каждой группы МЭК определяется по формуле

$$k_{фин.гр.j} = \frac{Z_{реал j}}{Z_{план j}}. \tag{9}$$

Сведения о работах, завершившихся в отчётном году, представляются для наглядности в таблице, где указываются группы МЭК, наименова-

ние работ, планируемые и достигнутые характеристики МЭК.

Затем, согласно методике, рассчитываются коэффициент эффективности работ в группе МЭК и коэффициент выполнения работ в группе МЭК:

$$k_{эф.гр.j} = \sum_{i=1}^m k_{рез i}; \tag{10}$$

$$k_{раб.гр.j} = \frac{m_i}{N_j}, \tag{11}$$

где m_j – количество работ в группе, завершившихся за отчётный период; N_j – количество работ в группе, планировавшихся к завершению.

Далее определяются коэффициент эффективности группы МЭК и коэффициент полноты выполнения работ за отчётный период:

$$k_{эф.гр.j} = k_{эф.гр.j} k_{раб.гр.j}; \tag{12}$$

$$k_{эф} = \sum_{j=1}^E k_{эф.гр.j}, \tag{13}$$

где E – количество групп МЭК.

Итоговые значения представляются в виде таблицы, в которой указываются группы МЭК, коэффициенты эффективности и финансирования, итог за период.

Значения, представляемые в таблице, отражают ход реализации планов на заданном этапе по группам МЭК в целом и используются для принятия решений о мерах воздействия на ход реализации планов для обеспечения полноты их выполнения.

Дополнительно оценить различные предприятия можно по методике, рассмотренной ниже.

Структурно i -е предприятие можно представить в виде кортежа

$$D_i = \langle R_i, X_i = \{X_{ij}(t)\}, K_{ij} \rangle, \tag{14}$$

$$i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J},$$

где R_i – ресурсы на i -м предприятии; $X_i = \{X_{ij}(t)\}$ – множество j -х свойств на i -м предприятии; K_{ij} – оценки j -х свойств на i -м предприятии.

Описание предприятия D_i носит нечёткий характер. Множество его свойств зависит от времени и имеет обычно словесное описание (лингвистическое).

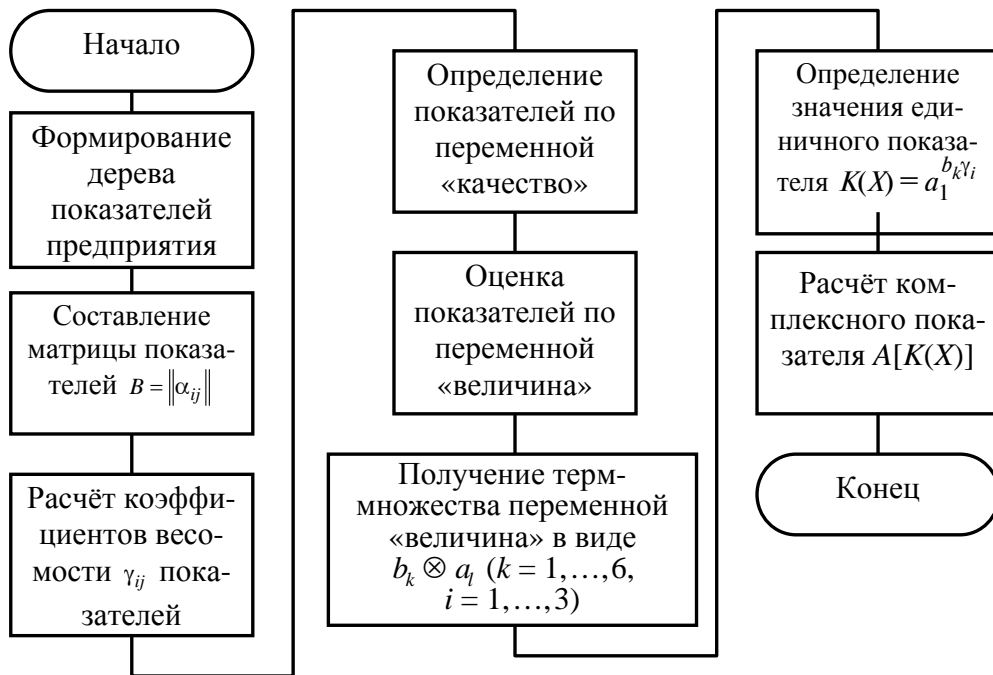


Рис. 2. Алгоритм оценки показателей предприятия

Центр принятия решений при планировании НИОКР учитывает тезаурус свойств предприятий. Тезаурус составлен в виде терминологического графа, вершины которого являются признаками классификации, а ребра – отношениями типа *И*. Это позволяет для некоего свойства предприятия учесть все возможные его проявления.

При экспертном способе оценки свойств предприятия имеет место неопределённость, обусловленная отсутствием у ряда показателей общепринятых единиц измерения, а также чётких границ. Поэтому были введены две лингвистические переменные:

а) «качество»: $b_k[K(X_j)], k = \overline{1,6}, j = \overline{1,NN}$,

где X_j – название j -го показателя; K – лингвистическое значение (оценка), выраженное первичным термом «качественно» для переменной «качество»; b_k – модификатор для лингвистического значения K : b_1 – «не», b_2 – «более или менее», b_3 – «почти», b_4 – «достаточно», b_5 – «очень», b_6 – «высоко»;

б) «величина»: $b_k \otimes a_l, l = \overline{1,3}, k = \overline{1,6}$,

где a_l – первичные терм-множества: a_1 – «высокий», a_2 – «средний», a_3 – «низкий».

Комплексный показатель оценивался по формуле

$$A[K(X)] := \gamma^1 A_1[K(X_1)] \cap \gamma^2 A_2[K(X_2)] \cap \dots \cap \gamma^m A_m[K(X_m)], \tag{15}$$

где выражение в правой части – композиция единичных j -х показателей $A_j[K(X_j)]$; γ_j – коэффициент весомости j -го показателя; m – количество единичных показателей, составляющих комплексный показатель; \cap – операция пересечения, соответствующая операции \min для значений единичных показателей, т. е. эксперту разрешается пользоваться составными модификаторами со связками «И» и «ИЛИ», а также сложными высказываниями.

В работе разработан алгоритм оценки показателей предприятия (рис. 2).

Заключение. Разработанная модель и алгоритм поддержки принятия решений в силу инвариантности системных свойств применимы для оценки отдельных показателей и предприятия в целом для привлечения его в качестве исполнителя.

Полученные количественные данные оценки показателей предприятий также учитываются при расчёте рейтинга эффективности выполнения специальных проектов.

УДК 65.012.224:004

Е.Н. Пергун, А.Г. Янишевская, канд.техн.наук, доц., **Н.А. Лучкин**
(Омский государственный технический университет)

anna-yanish@mail.ru

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Рассмотрены основные этапы процесса разработки системы электронного документооборота на предприятии. Приведены примеры схем разработки, согласования и утверждения документов и организационной структуры системы с использованием платформы Lotus Domino Workflow.

Ключевые слова: автоматизация предприятия, система электронного документооборота, организационная структура системы.

Creature process basic phase for electron circulation of documents system on an enterprise are considered. Examples of the documents creature, agreement and statement schemes as well as system organizational structure with use of Lotus Domino Workflow platform are given.

Key words: enterprise automation, electron documents circulation system, system organizational structure.

В настоящее время системы электронного документооборота (СЭД) активно применяются на различных предприятиях, в государственных структурах, и интерес к ним непрерывно растёт. Это объясняется тем, что применение СЭД обычно приводит к усовершенствованию и структурированию бизнес-процессов на предприятии. Для соответствия организации стандартам управления качеством ISO9000 или СММ наличие СЭД является необходимым условием. СЭД позволяют получать количественные оценки эффективности работы сотрудников, обеспечивать выполнение намеченных планов и соблюдение требований стандартов управления качеством.

Новые версии СЭД демонстрируют явную нацеленность на работу с бизнес-процессами как упорядоченными наборами документов и задач. Это подтверждается, в частности, тем, что практически все западные системы такого класса перестали называться системами класса «Document Management», их стали классифицировать как, например, «Enterprise Content Management» (ECM), т. е. системы управления корпоративным контентом (предполагается управление любым контентом, а не только содержанием документов), или «Smart Enterprise Suite» (SES), т. е. интеллектуальные корпоративные системы с широким набором необходимых каждому предприятию функций [1, 2].

На возможность СЭД быть инструментом структурирования корпоративной информации обратим особое внимание, так как каждое предприятие обладает уникальными, присущими

только ему особенностями информационной структуры. Несмотря на важность средств обработки неструктурированной информации (например, текстов в произвольном формате), они не могут заменить процесс структурирования корпоративной информации в форме записи в базе данных.

Выбор системы документооборота — это не просто технологическая или инженерная задача, он связан с общей стратегией развития организации, определяется во многом её целями, конкурентной средой, структурой, которая имеется на данный момент, структурой, к которой организация придёт в будущем, требованиями полноты учёта задач, решаемых организацией, особенностями этих задач, связанными со спецификой её деятельности.

Эффективность использования СЭД, как правило, выше, чем эффективность использования других корпоративных систем.

Кроме количественных оценок эффективности работы системы, существуют также и качественные, такие, как повышение наглядности перемещения документов, возможности организации единого корпоративного информационного пространства, объединение и обеспечение сохранности корпоративной информации и, наконец, повышение управляемости компании в целом.

Архитектуру системы необходимо выбирать с учётом решаемых на предприятии задач.

В данной статье предлагается архитектурное решение на платформе Lotus Domino Workflow, которое обеспечивает широкую функциональ-

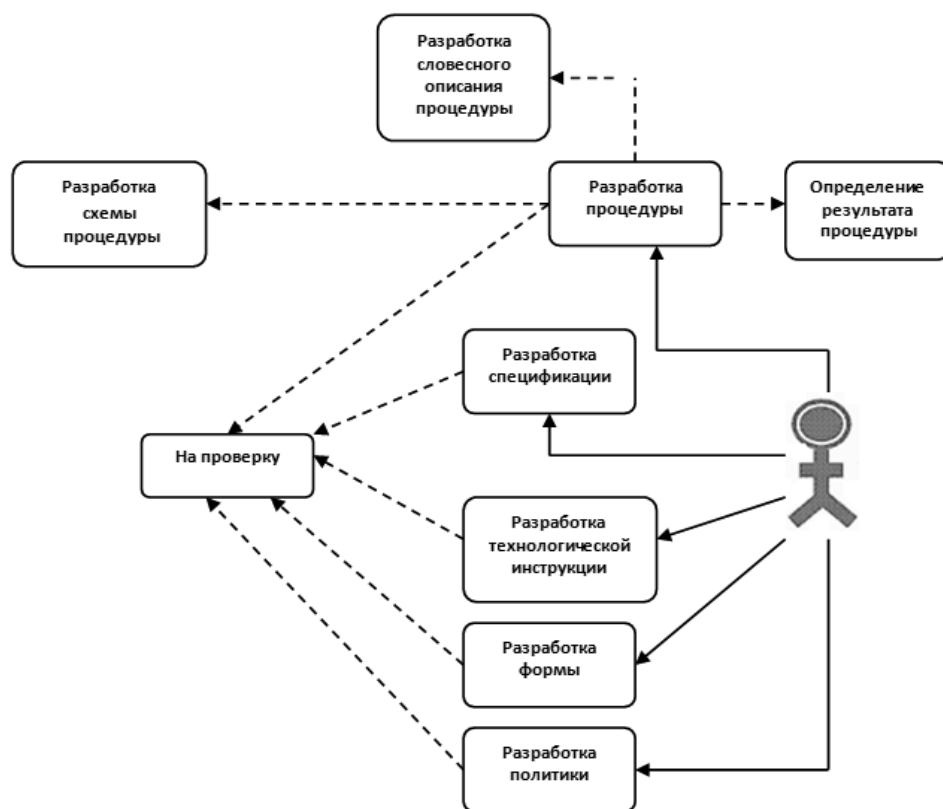


Рис. 1. Схема разработки, согласования и утверждения документов

Требования к системе электронного документооборота

| Исполнитель | Функция |
|----------------------------------|--|
| Менеджер | Разработка (редактирование) документов («политики», «процедуры», технологических инструкций, спецификаций) и отправление их на проверку сотруднику управления |
| Сотрудник управления | Создание документов («политики», «процедуры», технологических инструкций, спецификации, формы); проверка их после создания менеджером, формирование комментария по проверке; определение списка сотрудников, согласующих каждый документ; отправление соответствующих документов на согласование сотруднику и возвращение несоответствующих документов менеджеру; удаление документов («политики», «процедуры», технологических инструкций, спецификации, формы); осуществление служебных операций в Domino Worklow (работа с Domino Workflow View, работа с Domino Workflow Architect); работа с матрицей соответствия документов, а также со справочниками «Результаты» и «Направления деятельности» |
| Сотрудник, согласующий документы | Просмотр документов системы, присланных на согласование, и внесение результатов в лист согласований |
| Координатор | Просмотр документов системы, полученных на утверждение, и внесение решения в лист утверждения |
| Администратор | Создание и редактирование документов в организационной структуре |
| Сотрудник компании | Чтение утверждённых документов системы |

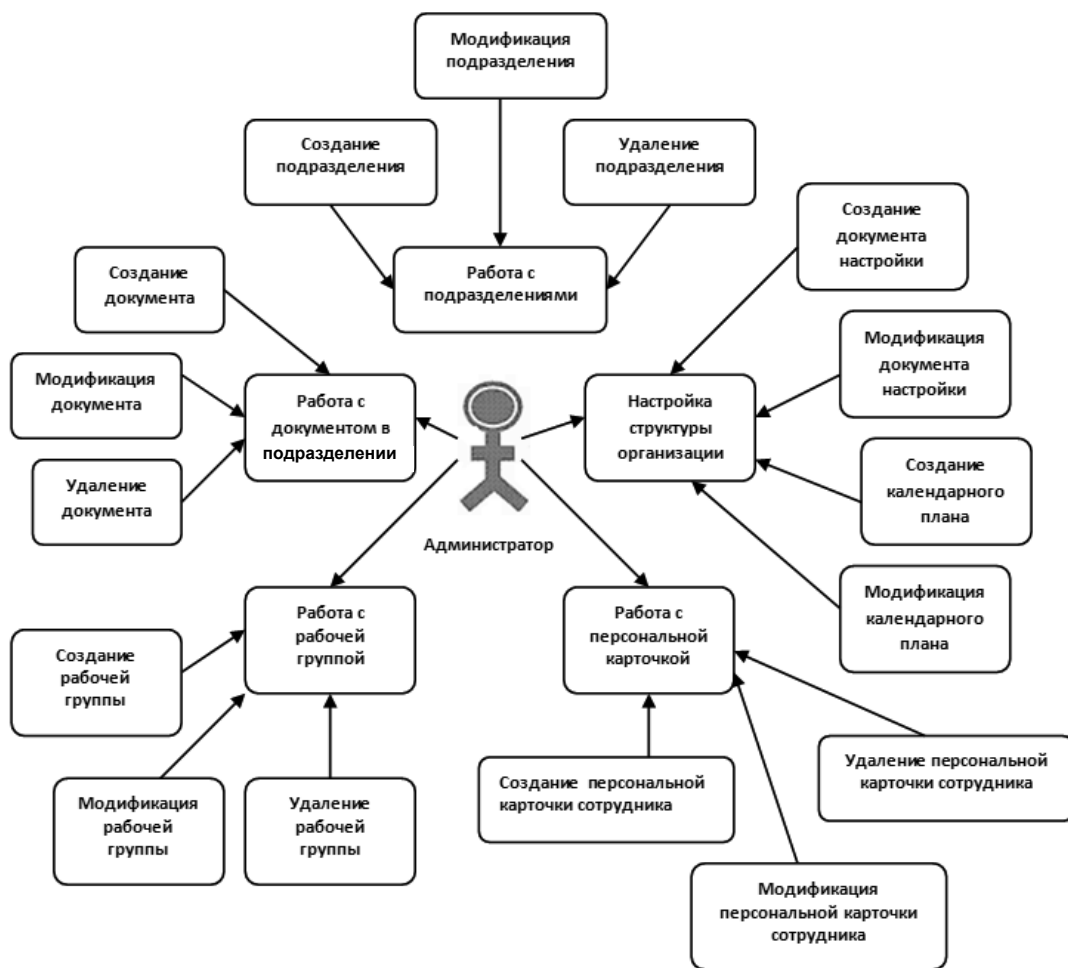


Рис. 2. Алгоритм оценки показателей предприятия

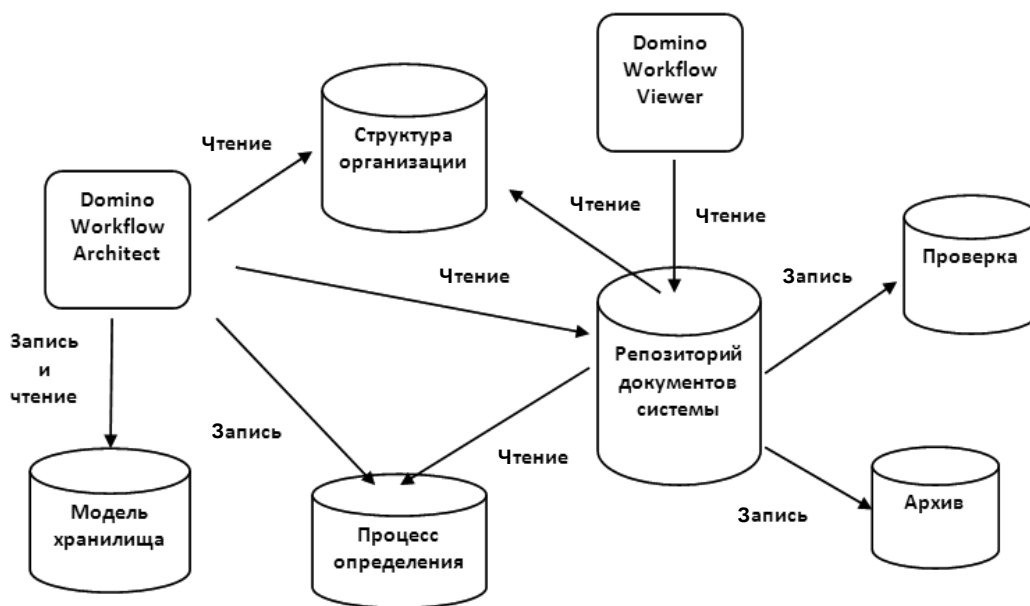


Рис. 3. Структурные части системы

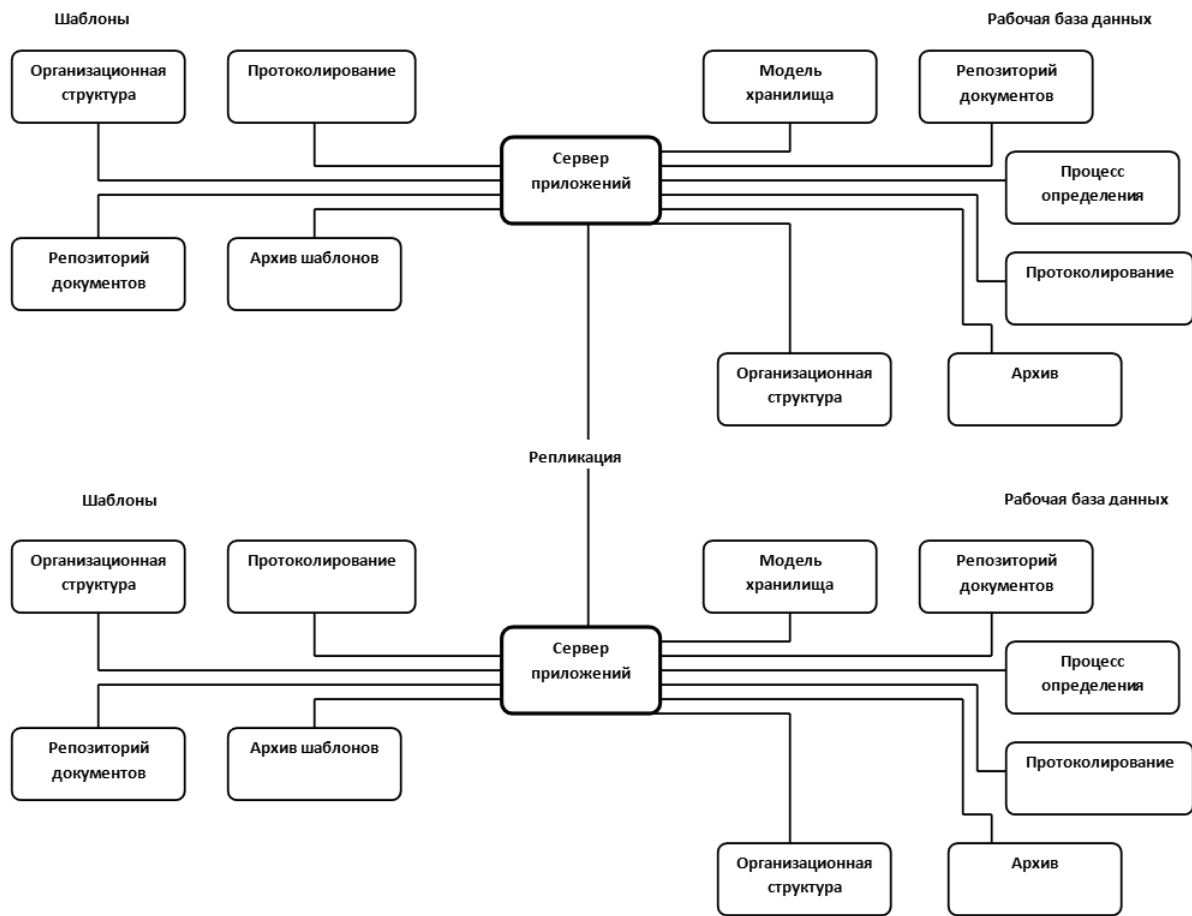


Рис. 4. Схема развёртывания системы

ность, удовлетворяющую значительную часть требований к системе (см. таблицу), развитие возможности разработки и визуализации бизнес-процессов, встроенный механизм отчётности по проходящим бизнес-процессам данной платформы.

Разработку, согласование и утверждение документов в системе (рис. 1) осуществляют следующие блоки:

«Разработка процедуры» (редактирование документа, описывающего процедуры, формирование его разделов и отправку на проверку);

«Разработка схемы процедуры» (ввод и редактирование посредством графического редактора раздела, внедренного в документ «Процедура» объекта);

«Разработка словесной части процедуры» (менеджеру предоставляется возможность редактирования внедренного в документ «Процедура» объекта – «Словесное описание процедуры» посредством вызова текстового редактора;

«Определение результатов процедуры»;

«Разработка технологической инструкции» (редактирование документа «Технологическая инструкция» и внедрённого в него объекта «Техноло-

гическая инструкция» посредством вызова текстового редактора и отправки документа на проверку);

«Разработка спецификации» (редактирование документа «Спецификация» и внедрённого в него объекта «Спецификация» посредством вызова текстового редактора с последующей отправкой документа на проверку);

«Разработка формы» (редактирование документа и внедрённого в него объекта «Спецификация» посредством вызова текстового редактора и отправки документа на проверку).

«Разработка политики» (редактирование документа «Политика» и внедрённого в него объекта «Политика» посредством вызова текстового редактора и отправки этого документа на проверку).

При этом система обеспечивает:

организацию ссылок на соответствующие результаты документы «Форма» или «Спецификация»;

формирование гиперссылок в разделе «Ссылки» во внедрённых объектах документов системы;

заполнение служебных полей для формирования иерархической структуры документов по системе.

Для работы в системе предлагается организационная структура, представленная на рис. 2.

В блоках «Работа с подразделениями», «Работа с персональной карточкой» и «Работа с рабочей группой» исполнителем выступает администратор. Он может работать с карточкой подразделения в структуре предприятия, персональной карточкой сотрудника предприятия и с документами рабочих групп в структуре предприятия. Представленная схема описывает наиболее значимые части системы и их взаимодействие.

Функционально система представляет собой комплект Windows-приложений из пакета Lotus Domino Workflow и баз данных в формате Lotus Notes. Разрабатываемая часть системы представлена базой данных «Репозиторий документов системы». На рис. 3 приведены наиболее значимые структурные части системы:

Domino Workflow Architect – это Windows-приложение для разработки и модификации процессов документооборота системы;

Domino Workflow Viewer – Windows-приложение для просмотра процесса документооборота и отслеживания состояния документа в этом процессе;

структура организации – база данных для создания, модификации и хранения структуры организации и персональной информации об участниках документооборота, настроечной информации, необходимой для работы системы;

модель хранилища – база данных для хранения объектов документооборота и последующего их использования при построении процессов;

процесс определения – база данных для хранения созданных процессов;

репозиторий документов системы – база данных для взаимодействия с участниками процесса документооборота (создание и модификация документов в соответствии с правилами процесса документооборота);

проверка – база данных для протоколирования событий документооборота;

архив – база данных для архивирования и хранения не активных документов, находящихся в конечном состоянии процесса документооборота.

На рис. 4 приведена возможная аппаратная конфигурация для развёртывания системы.

СЭД разрабатывается с учётом работы в распределённой системе. При этом синхронизация данных между удалёнными серверами осуществляется встроенными механизмами репликации Lotus Domino. Сервер приложений представляет собой сервер Lotus Domino.

Разбиение архитектуры системы на слои и подсистемы позволяет выявить отдельные логические пакеты, которые могут разрабатываться отдельно. Такое разбиение повышает гибкость системы, облегчает отладку и в конечном счёте сокращает время разработки.

Таким образом, СЭД формируют новое поколение систем автоматизации предприятий. Основными объектами автоматизации в таких системах являются документы (в самом широком их понимании, от обычных бумажных до электронных любого формата и структуры) и бизнес-процессы, представляемые как движение документов и их обработка. Данный подход к автоматизации предприятий является одновременно и конструктивным и универсальным, обеспечивая автоматизацию документооборота и всех бизнес-процессов предприятия, что позволяет перейти на существенно более высокий уровень работы.

Библиографические ссылки

1. **International** Data Corporation, Europe Document Management Market Review and Forecast. 2000. February.

2. **International** Data Corporation, Europe Document Management Market Review and Forecast. 1999. July.

Уважаемые авторы и читатели журнала!

В соответствии с решениями президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал «Автоматизация и современные технологии» включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук.

**ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ**

УДК 621.002.51

По страницам журналов

О локализованных напряжениях в лазерно-облучённой поверхности металлических материалов. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2010. № 1.

Рассмотрены возможные механизмы возникновения термических и структурных напряжений при импульсном лазерном нагреве сталей и сплавов, приводящие к локальной пластической деформации поверхностных слоёв металла. Выявлена возможность формирования в поверхностных слоях металлических материалов композиции с оптимальным сочетанием прочности, пластичности и сопротивления хрупкому разрушению.

Корректирующие алгоритмы для системы управления гидрообъёмной трансмиссией полноприводного АТС при прямолинейном его движении. *Автомобильная промышленность.* 2010. № 1.

Теоретически обоснована необходимость использования корректирующих алгоритмов в системе автоматического управления гидрообъёмной трансмиссией (ГОТ) многоприводной колёсной транспортно-тяговой машиной. Основной целью их использования является адаптация работы колёсной машины с ГОТ к условиям движения. При этом обеспечивается повышение энергоэффективности машины.

Волновая технология производства магнитодиэлектриков. *Инженерный журнал «Справочник».* 2010. № 1.

Приведены результаты расчётно-теоретического и экспериментального исследования процесса получения по волновой технологии суспензии (жидкой фазы магнитодиэлектрика) на основе стиролакриловой дисперсии (латекса) и порошка карбонильного железа с заданным соотношением компонент.

Показано, что волновая технология приготовления суспензий с заданным соотношением составляющих, в отличие от традиционной, обеспечивает повышение однородности материала, чему, наряду с перемешиванием, способствует также диспергирование основы и дробление конгломератов наполнителя.

Дисковое ножевое устройство для разрезания покрышек. *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2010. № 1.

Предложено дисковое ножевое устройство для разрезания покрышки с остриём металлического

лезвия, выполненным с поверхностью, близкой к поверхности псевдосферы, и режущей кромкой, соответствующей ребру возврата псевдосферы. Для подачи разрезаемого материала в зону резания использованы силы трения, возникающие при разрезании, что позволяет обойтись без дополнительных устройств и приспособлений для подачи материала.

Физическая и математическая модели измерения при автоматизированном контроле колориметрических характеристик объектов. *Контроль. Диагностика.* 2010. № 1.

Рассмотрены современные методы измерения цвета, применяемые при контроле изделий с лакокрасочным покрытием. Предложен способ измерения цветовых характеристик объектов путём обработки их цифровых изображений. Разработаны физическая и математическая модели процесса измерений, позволяющие с достаточной для практики точностью осуществлять контрольно-измерительные процедуры путём расширения динамического диапазона колориметрических измерений.

Математическое моделирование динамических реакций опор манипуляторной машины. *Вестник машиностроения.* 2010. № 1.

Получены соотношения статических и динамических составляющих реакций опор манипулятора, исследованы зависимости динамической составляющей от угловой скорости, веса груза, угла наклона рукоятки, вычислены поправки к опрокидывающему моменту, вызванные динамической реакцией опор.

Оценка погрешностей сборки машин виброакустическим методом. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2010. № 1.

Рассмотрен метод безэталонной оценки погрешностей сборки машин на основе анализа виброакустических сигналов, связанных с ненаблюдаемыми погрешностями машин и агрегатов, возникающих при изготовлении и в эксплуатации, часть из которых не имеет адекватного представления в шкалах отношения и интервалов. Введено каноническое уравнение связи между диагностическими признаками сигнала и структурными параметрами состояния машины. Приведены результаты моделирования и экспериментальных исследований.

Интеллектуальная САПР технологических процессовковки валов на молотах. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2010. № 1.

Описаны назначение, область применения, возможности интеллектуальной компьютерной системы автоматизированного проектирования технологических процессовковки ступенчатых валов на молотах «САПР ВАЛ», разработанной в Институте машиноведения Уральского отделения Российской академии наук.

Унифицированный оптический измеритель перемещений для систем диагностики технического состояния материалов и изделий. *Контроль. Диагностика.* 2010. № 2.

Предложен перспективный унифицированный оптический измеритель перемещений поверхностей объектов контроля на основе лазерного интерферометра для систем диагностики технического состояния конструкционных материалов и изделий. Описаны назначения, состав и принцип действия. Представлены технические предложения по повышению точности и качества результатов измерений, а также примеры практического использования.

Нейроалгоритмы в автомобилестроении. *Грузовик.* 2010. № 2.

Предложены нейросетевые алгоритмы, позволяющие оценить степень подобию деталей по пространственному распределению материала. Показана возможность применения разработанных алгоритмов для решения задачи первичного выбора литниковой системы отливки на стадии проектирования.

Оптимизация структуры многоуровневой резервированной компьютерной системы при многовариантности потока запросов. *Вестник компьютерных и информационных технологий.* 2010. № 2.

Рассмотрена векторная оптимизация структуры многоуровневой компьютерной системы в условиях многовариантности входного потока по интенсивности запросов и распределению вероятностей запросов к различным группам серверов. Определено распределение числа коммуникационных и серверных узлов (кратностей резервирования) различных типов, для которого достигается компромисс по максимуму надёжности структуры и минимуму времени пребывания запросов, при ограничении средств на построение системы.

Анализ потерь давления масла в каналах коленчатого вала двигателя. *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2010. № 2.

Изложены результаты расчётных исследований функционирования системы смазывания подшипников коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания, дан анализ причин, определяющих потери давления масла в каналах коленчатого

вала. Аналитические исследования подтверждены экспериментально.

Система непрерывного контроля сопротивлений изоляции отдельных фаз электрической сети с изолированной нейтралью. *Горное оборудование и электромеханика.* 2010. № 2.

Описана система непрерывного контроля сопротивлений изоляции отдельных фаз электрической сети с изолированной нейтралью, основанная на модифицированном методе добавочной проводимости. Приведён алгоритм работы системы. Выполнено исследование переходных процессов и установлены интервалы времени подключения добавочной проводимости к каждой фазе сети, а также время, необходимое для расчёта параметров сопротивления изоляции непосредственно системой.

Оценка эффективности когенерационной системы преобразования энергии эксергетическим методом. *Инженерный журнал «Справочник».* 2010. № 2.

Рассмотрены вопросы оценки эффективности когенерационной системы преобразования энергии как термодинамической посредством эксергетического КПД. Приведены теоретические положения и примеры его расчёта для наиболее распространённых энергетических установок.

Реализация компьютерного управления на постоянной несущей частоте применительно к оборудованию с параллельными приводами. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2010. № 2.

Предложен подход к формированию требуемой траектории движения рабочего органа оборудования с параллельными приводами, при котором используется управление на постоянной несущей частоте. Получаемая погрешность формирования траектории по линейным координатам не превышает заданного значения. Требуется проведение анализа кинематической схемы механизма, лежащего в основе оборудования с параллельными приводами.

Развитие микроструктурного метода исследования конечных пластических деформаций. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2010. № 2.

Предложено развитие микроструктурного метода исследования конечных пластических деформаций в направлении применения программных продуктов для снижения трудоёмкости замеров линейных размеров структурных составляющих металла, расчётов компонентов деформированного состояния и расширения технологических возможностей в выявлении наиболее характерных зон деформированной структуры и отслеживание их перемещений по переходам штамповки.