

Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов

1
—
2012

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

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

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

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

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

ООО «Издательство Машиностроение»

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ганиева В.Р., Любимов А.С., Еникеев Ф.У. Автоматизация производственных процессов сверхпластической формовки на основе применения методов компьютерного моделирования	3
Васин В.М. Закон распределения массы частиц в потоках компонентов сыпучих материалов в смесителях непрерывного действия	9
Быстрицкий В.Е. Автоматизированная транспортная система на базе электрифицированной подвесной дороги	13

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Неусыпин К.А., Кэ Фан, Дзы Ли Синь. Управление и наведение ракет, основанное на теории дифференциальной геометрии	16
Фархадов М.П., Душкин Д.Н. Сетоцентристические технологии: эволюция, текущее положение и области дальнейших исследований	21
Цибизова Т.Ю., Неусыпин К.А. Некоторые аспекты реструктуризации системы управления современными учебно-научными центрами	30
Абдуллаев Н.А. О компенсации температурной погрешности акустической локации наземных и летательных средств	35
Моляка А.С., Янишевская А.Г. Оптимальное размещение данных в сетях с фиксированным числом клиентов	38
Крутыхин А.Д., Кузнецов А.П. Описание вероятностной модели синтеза маршрутных технологических процессов	43

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

14-я международная специализированная выставка машиностроения и металлообработки «MASHEX-2011»	47
--	----

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов	48
-----------------------------	----

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

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

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

**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 несет рекламодатель**

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Ganieva V.R., Lyubimov A.S., Enikeev F.U. Production processes automation of the superplastic forming through the use of computer modelling methods	3
Vasin V.M. The particles weight distribution law for bulk material components stream in continuous mixers	9
Bystritskiy V.E. Automatic transport system from a electrify pendant road	13

MODERN TECHNOLOGIES

Neusypin K.A., Ke Fan, Dzya Li Cin Rockets control and pointing based on the differential geometry theory	16
Farkhadov M.P., Dushkin D.N. Network centric technologies: evolution, current position and areas of the further researches	21
Tsibizova T.Yu., Neusypin K.A. Some restructuring aspects of the modern educational-scientific centers control system	30
Abdullaev N.A. On temperature error compensation of the ground and flying facilities acoustic location	35
Molyaka A.S., Yanishevskaya A.G. Optimal data placement in networks with fixed number clients	38
Krutikhin A.D., Kuznetsov A.P. Probabilistic model description of the route technological processes synthesis	43

EXHIBITION AND PRESENTATIONS

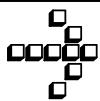
The 14th International specialized exhibition of machine-building and metalworking MASHEX-2011	47
--	----

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review	48
--------------------------	----

Сдано в набор 28.10.11. Подписано в печать 28.12.11.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 7,0. Заказ 1. Цена свободная.

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



УДК 621.71: 539.374

В.Р. Ганиева, А.С. Любимов, Ф.У. Еникеев, д-р техн. наук, доц.
 (Уфимский государственный нефтяной технический университет)
 veneera5577@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Предложен алгоритм расчёта технологических параметров процесса сверхпластической формовки листового материала в эллипсоидальную матрицу, основанный на использовании основных предположений безмоментной теории оболочек и гипотезы о пропорциональности деформаторов напряжений и скоростей деформаций. Алгоритм предназначен для использования в автоматизированной системе управления моделируемым технологическим процессом. Установлено, что при деформировании материала в эллипсоидальную матрицу в полюсе купола имеет место сложное непропорциональное нагружение, при котором траекториям деформации малой кривизны соответствуют траектории напряжений большой кривизны.

Ключевые слова: сверхпластическая формовка, компьютерное моделирование, напряжённо-деформированное состояние, автоматизация.

Calculation algorithm of the technological parameters for the superplastic forming process of the sheet material in the ellipsoidal matrix is proposed. Algorithm utilizes fundamental assumptions of the shell momentless theory and hypothesis about deviator tension and deformation velocity proportionality. Algorithm is suitable for utilization in the automatic control system of the simulated technological process. It is established that for material deformation in the ellipsoidal matrix in the shell pole takes place complex disproportionate stressing at which the small curvature deformation trajectories correspond with the big curvature tension trajectories.

Key words: superplastic forming, computer modelling, stress-deformed state, automation.

Введение. Сверхпластическая формовка (СПФ) является одним из перспективных методов обработки давлением листовых промышленных сплавов на основе титана, алюминия, магния, железа, никеля и других современных конструкционных материалов [1]. В последние годы эта технология привлекает повышенное внимание специалистов в связи с появлением эффективных методов получения объёмныхnanoструктурных материалов, обладающих уникальными свойствами [2]. В этой связи представляет большой интерес применение этих новых материалов в технологиях обработки металлов давлением в состоянии сверхпластичности (СП) [3].

Использование СП при обработке металлов давлением во многих случаях обеспечивает снижение деформирующих усилий, повышение коэффициента использования металла, уменьшение числа технологических переходов и улучшение качества деформируемых полуфабрикатов, что обуславливает значительный интерес к изучению этого явления. В этой связи актуальной задачей

становится разработка математических моделей технологических процессов обработки давлением ультрамелкозернистых материалов, основанных на постановке и решении краевых задач механики СП [4].

В связи с бурным развитием информационных технологий, средств вычислительной техники и программного обеспечения кардинально расширились возможности использования методов компьютерного моделирования. Большинство организаций и предприятий, оснащенных мощной компьютерной техникой, имеют современные программные средства от известных разработчиков, такие как ANSYS, ABAQUS, MARC, DEFORM и др. Традиционные проблемы, связанные с машинным временем, объёмом оперативной памяти, быстродействием, ушли в прошлое. Если раньше для создания математической модели технологического процесса необходимо было грамотно ставить краевую задачу, выбирать метод и алгоритм её решения, писать программу, отлаживать её, тестировать и т.д., — и на это ухо-

дили многие годы труда научного коллектива, — то теперь построение компьютерных моделей технологических процессов сводится, по сути, к обычным пользовательским процедурам и не представляет серьёзной проблемы для квалифицированного инженера-программиста. Однако большинство компьютеров используется обычно для оформления служебной документации, подготовки отчётов, публикаций и выхода в Интернет. В этой связи целесообразно использовать доступные средства вычислительной техники и современное программное обеспечение для автоматизации производственных процессов и повышения эффективности производства на основе последних достижений в области информационных технологий.

Целью настоящей работы является повышение эффективности производственных процессов СПФ на основе автоматизации расчёта технологических параметров с применением методов механики деформируемого твёрдого тела и компьютерного моделирования.

Математические модели процессов сверхпластической формовки. Рассмотрим основные проблемы, которые встают перед технологами при реализации процессов СПФ.

1. Необходимо обеспечить оптимальные условия СП на протяжении всего процесса формовки. Если проводить формовку при постоянном давлении, то скорость деформации в процессе может изменяться на несколько порядков, что не может обеспечить оптимальные скоростные условия СП [1–4]. Поэтому необходимо в ходе процесса изменять давление газа таким образом, чтобы скорость деформации соответствовала оптимуму СП (небольшой окрестности точки перегиба сигмоидальной кривой СП).

2. Эксперименты показали, что распределение толщины по профилю получаемого изделия обычно неравномерно; в этом случае говорят о возникновении разнотолщинности. Величина её при одинаковой конфигурации деталей зависит от показателя m скоростной чувствительности материала. Чем выше показатель m , тем меньше разнотолщинность материала при СПФ [1–4]. Возникновение разнотолщинности является одной из серьёзных проблем при изготовлении гофровых конструкций и многослойных ячеистых панелей [3]. В этой связи актуальна задача количественной оценки толщины оболочки и степени исчерпания ресурса пластичности.

3. За время формовки в структуре материала могут происходить заметные изменения, отражающиеся на его макроповедении. Например, с одной стороны, если проводить формовку при слишком низкой скорости деформации (малых давлениях), рост зёрен может привести к увели-

чению сопротивления деформации и даже выходу из состояния СП и, следовательно, к разрушению формируемого купола. С другой — при формировке изделий из сплавов на основе алюминия в ходе деформации возникает заметное порообразование. Для его подавления используется гидростатическое давление [5].

Таким образом, основными задачами математического моделирования процессов СПФ являются: расчёт зависимости давления от времени, прогнозирование разнотолщинности формуемых изделий и оценка повреждённости и степени исчерпания ресурса пластичности.

Компьютерное моделирование процессов сверхпластической формовки. В последние годы доступность средств вычислительной техники и современного программного обеспечения позволила резко расширить возможности использования методов компьютерного моделирования для анализа процессов СПФ. Обосновано применение известных из литературы инженерных подходов, в частности модели СПФ протяжённой прямоугольной мембранны [6]. В работе [7] обобщены методики расчёта режимов СПФ протяжённой прямоугольной мембранны в случае, когда необходимо принимать во внимание возможный рост зёрен при сверхпластическом деформировании листовых материалов. В работах [8] и [9] предложена математическая модель процесса СПФ листового материала в цилиндрическую матрицу, обоснование применимости которой показано в работе [10].

Математическая модель процесса сверхпластической формовки листа в эллипсоидальную матрицу. При математическом моделировании процессов СПФ чаще всего рассматривают деформирование листа в матрицы прямоугольной и цилиндрической формы, которые применяются на практике при изготовлении оболочек цилиндрической и сферической формы соответственно. В работах [6–9] описаны математические модели, позволяющие моделировать эти два процесса на основе использования основных уравнений безмоментной теории оболочек. Процесс СПФ листа в эллипсоидальную матрицу может рассматриваться как естественное обобщение упомянутых выше двух основных расчётных схем деформирования. Пусть a и b — главные полуоси входного эллипса матрицы; для определённости примем, что $a \leq b$. Для удобства последующего сопоставления с результатами, приведёнными в работах [6–9], введём обозначения $W = a$ и $R_0 = b$. Пусть $\chi = a/b = W/R_0$ — геометрический фактор. Тогда при $a = b$ (или $\chi = 1$) получим схему деформирования листа в цилиндрическую матрицу радиуса R_0 [8, 9]. В предельном случае $a \ll b$ (или $\chi = 0$) приходим к схеме деформирования длинной узкой мембранны полуширины W [6, 7]. Кроме того, моделирование

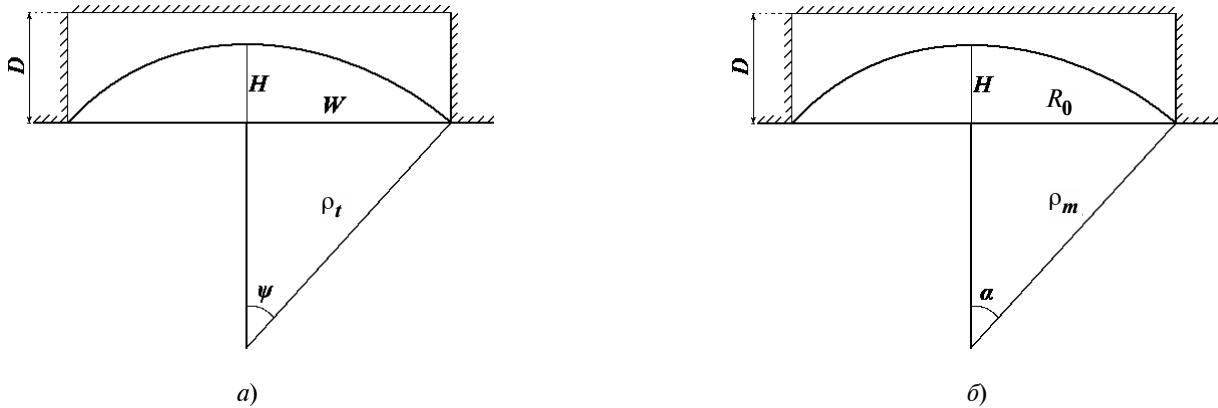


Рис. 1. Ортогональные проекции деформируемой оболочки:

ρ_m , ρ_t – главные радиусы кривизны оболочки; H – текущая высота купола; D – глубина матрицы

СПФ листа в эллипсоидальную матрицу может быть важным и при анализе режимов формообразования и прогнозирования разнотолщинности, возникающей в процессе изготовления многослойных ячеистых конструкций с рисунком сварных швов в форме прямоугольной сетки с произвольным соотношением сторон a и b ячейки.

Представляет интерес разработка единого подхода, который в частных случаях позволял бы получать приближённые решения задачи о формировке листа в цилиндрическую и прямоугольную матрицы.

На рис. 1 представлены проекции формируемой оболочки в текущий момент времени t . Предположим, что проекции срединной поверхности оболочки на координатные плоскости представляют собой части окружностей радиуса ρ_t (a) и ρ_m (b) соответственно. Два материальных волокна, проходящие через полюс купола, растянуты в $\rho_m \alpha / R_0$ и $\rho_t \psi / W$ раз. Исходя из геометрических соображений следует, что $\rho_m = R_0 / \sin \alpha$ и $\rho_t = W / \sin \psi$, а главные деформации в полюсе купола $\epsilon_m = \ln(\alpha / \sin \alpha)$, $\epsilon_t = \ln(\psi / \sin \psi)$. Из условия несжимаемости вытекает, что третья, главная деформация $\epsilon_n = \ln[(\sin \alpha / \alpha)(\sin \psi / \psi)]$. Тогда интенсивность деформаций в полюсе купола

$$\epsilon_e = \sqrt{2\epsilon_{ij}\epsilon_{ij}/3} = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\epsilon_m^2 + \epsilon_t^2 + \epsilon_n^2}. \quad (1)$$

Пусть s_p – толщина оболочки в полюсе купола, тогда из условия $\epsilon_n = \ln(s/s_0) = \ln[(\sin \alpha / \alpha)(\sin \psi / \psi)]$ получаем

$$s_p = s_0 \frac{\sin \alpha \sin \psi}{\alpha \psi}, \quad (2)$$

где s_0 – исходная толщина листа.

Параметры α и ψ , входящие в уравнение (2), являются зависимыми, поскольку связаны между собой соотношениями для высоты купола:

$$H = R_0 \operatorname{tg}(\alpha/2) = W \operatorname{tg}(\psi/2). \quad (3)$$

Таким образом, для текущей конфигурации купола, определяемой значением α , толщина оболочки в полюсе s_p и высота купола H определяются выражениями (2) и (3).

Дифференцируя по времени полученные выше выражения для главных деформаций $\dot{\epsilon}_m = \ln(\dot{\alpha} / \sin \alpha)$, $\dot{\epsilon}_t = \ln(\dot{\psi} / \sin \psi)$, находим, что меридиональная и окружная скорости деформаций равны соответственно

$$\begin{aligned} \xi_m &= \dot{\epsilon}_m = \dot{\alpha}(1/\alpha - \operatorname{ctg} \alpha), \\ \xi_t &= \dot{\epsilon}_t = \dot{\psi}(1/\psi - \operatorname{ctg} \psi). \end{aligned} \quad (4)$$

Тогда, принимая во внимание условие несжимаемости $\xi_n = -\xi_m - \xi_t$, запишем следующее выражение для интенсивности скоростей деформаций в полюсе купола:

$$\xi_e = \sqrt{2\xi_{ij}\xi_{ij}/3} = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\xi_m^2 + \xi_t^2 + \xi_n^2}.$$

Для цилиндрической матрицы $W = R_0$, $\chi = 1$ выражения (1), (4) совпадают с аналогичными выражениями в работах [8, 9]. В случае прямоугольной матрицы $W \gg R_0$, $\chi = 0$ выражения (1), (4) совпадают с соответствующими выражениями из работ [6, 7].

Напряжённое состояние будем анализировать в рамках безмоментной теории оболочек, одним из основных соотношений которой является уравнение Лапласа. Используем гипотезу Сен-Венана о подобии девиаторов напряжений и скоростей деформаций.

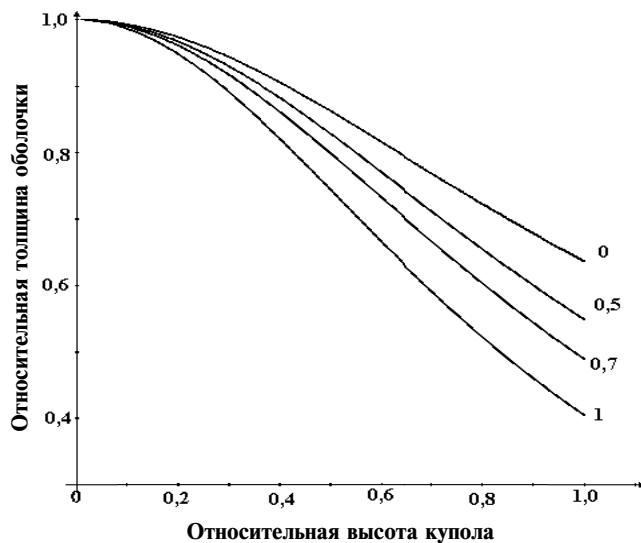


Рис. 2. Зависимости $\bar{s}(\bar{H})$, вычисленные при различных значениях $\chi = R_0/W$ (указаны цифрами у кривых)

Выберем скалярное определяющее соотношение вида $\sigma_e = \Phi(\varepsilon_e, \xi_e)$. В литературе по СП в этом качестве используют стандартное степенное соотношение

$$\sigma_e = K' \xi_e^{m'} \varepsilon_e^n,$$

где m – параметр скоростной чувствительности; K' – множитель, зависящий от среднего размера зёрен и других структурных параметров; n – параметр деформационного упрочнения; ε_e – интенсивность деформаций; ξ_e – интенсивность скоростей деформаций в полюсе купола [1, 4].

Для цилиндрической матрицы ($W = R_0$, $\chi = 1$) имеем (в полюсе купола)

$$\sigma_{ep} = \frac{pR_0}{2s_0} \frac{\alpha^2}{\sin^3 \alpha}, \quad \xi_{ep} = 2\dot{\alpha}(1/\alpha - \operatorname{ctg} \alpha). \quad (5)$$

Для прямоугольной матрицы ($W \ll R_0$, $\chi = 0$) имеем $\sigma_m = p\rho/s$, $\sigma_m = p\rho/2s$ и

$$\sigma_{ep} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{pW}{s_0} \frac{\alpha}{\sin^2 \alpha}, \quad \xi_e = \frac{2}{\sqrt{3}} \dot{\alpha} \left(\frac{1}{\alpha} - \operatorname{ctg} \alpha \right). \quad (6)$$

Согласно приведённому выше подходу может быть рассчитан оптимальный закон подачи давления, однако соответствующий анализ выходит за рамки настоящей работы.

Результаты расчётов. Для теоретического анализа удобно ввести безразмерные величины: относительную толщину оболочки в полюсе $\bar{s} = s_p / s_0$ и относительную высоту купола $\bar{H} = H / R_0$.

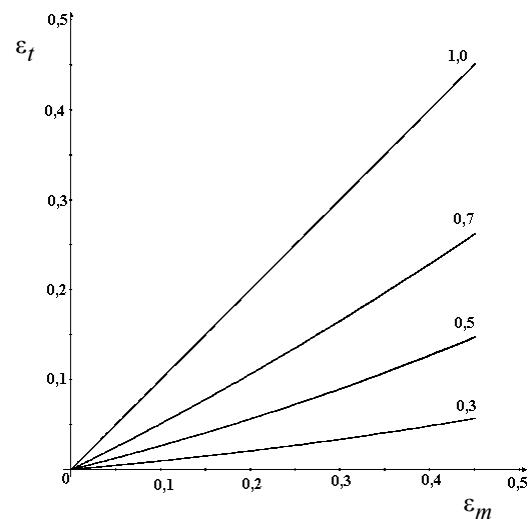


Рис. 3. Главные деформации в полюсе купола, вычисленные при различных значениях $\chi = R_0/W$ (указаны цифрами у кривых)

На рис. 2 приведены зависимости $\bar{s}(\bar{H})$, вычисленные при различных значениях $\chi = W/R_0$. По мере увеличения χ толщина оболочки монотонно уменьшается, достигая минимума для случая формовки в цилиндрическую матрицу ($\chi = 1$).

На рис. 3 представлены проекции траекторий деформации Ильюшина на плоскость $\varepsilon_m - \varepsilon_t$, соответствующие процессу формовки листа в матрицы с различным геометрическим фактором χ . Траектории деформации представляют собой практически прямолинейные лучи, причём с ростом χ процесс деформирования приобретает характер двухосного растяжения (при $\chi = 1$).

Представляет интерес построение соответствующих траекторий напряжений в пространстве напряжений $\sigma_m - \sigma_t$. Из выражений (4) и (5) находим

$$\frac{2\sigma_t - \sigma_m}{2\sigma_m - \sigma_t} = \frac{\psi(1/\psi - \operatorname{ctg} \psi)}{\dot{\alpha}(1/\alpha - \operatorname{ctg} \alpha)}. \quad (7)$$

Дифференцируя по времени уравнение (3), определим

$$\frac{\dot{\psi}}{\dot{\alpha}} = \frac{R_0}{W} \frac{\cos^2(\psi/2)}{\cos^2(\alpha/2)}. \quad (8)$$

Подставляя выражение (8) в уравнение (7), получим

$$(2\eta + 1)\sigma_m = (2 + \eta)\sigma_t,$$

$$\text{где } \eta = \frac{R_0}{W} \frac{\cos^2(\psi/2)}{\cos^2(\alpha/2)} \frac{1/\psi - \operatorname{ctg} \psi}{1/\alpha - \operatorname{ctg} \alpha}.$$

Наконец, из уравнения равновесия определим компоненты тензора напряжений:

$$\sigma_m = \frac{pR_0}{s_p} \left[\sin \alpha + \frac{2\eta+1}{2+\eta} \chi \sin \psi \right]^{-1},$$

$$\sigma_t = \frac{pR_0}{s_p} \left[\frac{2+\eta}{1+2\eta} \sin \alpha + \chi \sin \psi \right]^{-1}. \quad (9)$$

Заметим, что соотношения (9) являются следствием уравнения равновесия и гипотезы Сен-Венана и они не зависят от выбора скалярной модели материала.

Чтобы проанализировать полученные выражения, удобно ввести относительные меридиональное и тангенциальное напряжения:

$$\bar{\sigma}_m = \sigma_m s_0 / (pR_0), \quad \bar{\sigma}_t = \sigma_t s_0 / (pR_0).$$

Тогда можно предложить следующий алгоритм расчёта значений $\bar{\sigma}_m$ и $\bar{\sigma}_t$:

задаётся значение геометрического фактора $\chi = R_0 / W$;

задаётся текущее значение конфигурационного параметра α ;

вычисляется текущее значение

$$\psi = 2 \operatorname{arctg} [\chi \operatorname{tg}(\alpha / 2)];$$

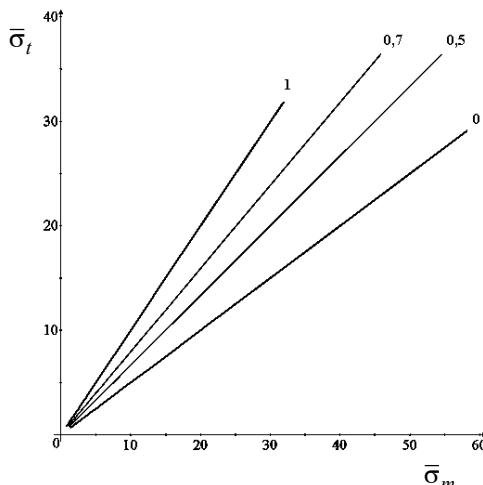
вычисляется относительная толщина купола

$$\bar{s}_p = s_p / s_0 = (\sin \alpha / \alpha) (\sin \psi / \psi);$$

вычисляется значение параметра η ;

рассчитываются относительные напряжения

$$\bar{\sigma}_m = \frac{1}{\bar{s}_p} \left[\sin \alpha + \frac{2\eta+1}{2+\eta} \chi \sin \psi \right]^{-1};$$



a)

$$\bar{\sigma}_t = \frac{1}{\bar{s}_p} \left[\frac{2+\eta}{1+2\eta} \sin \alpha + \chi \sin \psi \right]^{-1};$$

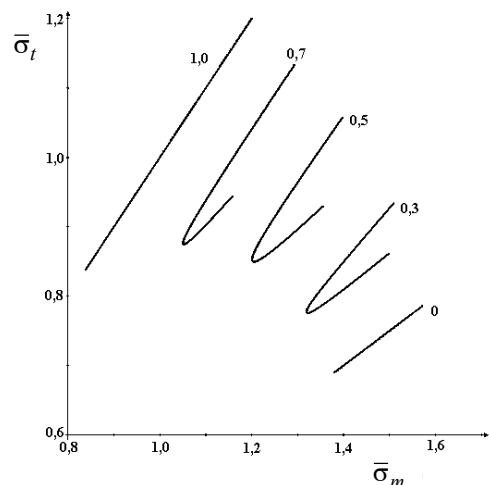
контроль правильности вычислений можно проводить по уравнению равновесия, которое в безразмерном виде принимает вид:

$$\bar{\sigma}_m \sin \alpha + \bar{\sigma}_t \chi \sin \psi = (\alpha / \sin \alpha) (\psi / \sin \psi).$$

На рис. 4 приведены траектории напряжений, соответствующие траекториям деформации, показанным на рис. 3, и рассчитанные по описанному выше алгоритму.

Может показаться, что траекториям деформации в форме лучей (см. рис. 3) соответствуют траектории напряжений в форме лучей (см. рис. 4, a). Однако более внимательный анализ (см. рис. 4, б) показывает, что конечные участки траекторий напряжений заметно искривлены при $0 < \chi < 1$. Отсюда следует, что на заключительном этапе формовки (при $\pi/4 \leq \alpha \leq \pi/2$) в матрицы эллиптической формы ($0 < \chi < 1$) имеет место непропорциональное сложное нагружение, что качественно отличает процессы СПФ в матрицы эллиптической формы от процессов СПФ в прямоугольную или цилиндрическую матрицу.

Программная реализация. Практическая реализация предложенного выше алгоритма расчёта параметров напряжённо-деформированного состояния в куполе, образующегося на стадии свободного формообразования листового материала в матрицу эллиптической формы, подразумевает разработку специализированного программного средства на одном из языков программирования высокого уровня. Разрабатыва-



б)

Рис. 4. Относительные напряжения $\bar{\sigma}_m$ и $\bar{\sigma}_t$, вычисленные при $0 \leq \alpha \leq \pi/2$ (a) и $\pi/4 \leq \alpha \leq \pi/2$ (б) при различных значениях геометрического фактора матрицы $\chi = R_0 / W$ (указаны цифрами у кривых)

мое программное средство предназначено для совершенствования системы управления установкой для СПФ и позволяет автоматизировать процесс расчёта оптимальных режимов нагружения и прогнозирования разнотолщинности изготавливаемых оболочек.

Функционал программы включает также методики экспериментального определения реологических свойств сверхпластичных материалов по результатам тестовых формовок листового проката в матрицы цилиндрической и прямоугольной формы. Входными данными являются результаты тестовых формовок при постоянном давлении инертного газа, геометрия заготовки и инструмента (матрицы). Выходные данные включают значения реологических параметров СП в заданной модели материала, основные параметры напряжённо-деформированного состояния, оптимальный закон подачи давления. В частных случаях формовки листа в матрицы цилиндрической и прямоугольной формы результаты работы совпадают с аналогичными результатами, получаемыми в рамках известных подходов. Программный продукт снабжён «дружественным» интерфейсом, позволяющим использовать его специалистами, не имеющими навыков программирования на языках высокого уровня.

Заключение. Предложена математическая модель процесса СПФ листового материала в эллиптическую матрицу, построенная на основе принятия ряда кинематических гипотез о характере деформированного состояния в формируемой оболочке. Анализ напряжённого состояния проводится в рамках основных допущений балансовой теории оболочек и принятия гипотезы о подобии девиаторов напряжений и скоростей деформаций. В частных случаях формовки листового материала в матрицы цилиндрической и прямоугольной формы предлагаемый алгоритм получает известные из литературы результаты. Теоретический анализ полученных выражений показал, что при СПФ в матрицу эллиптической формы имеет место сложное непропорциональное нагружение, при котором траекториям деформаций малой кривизны соответствуют траектории напряжений большой кривизны.

На основе разработанного подхода предложен алгоритм расчёта основных параметров напряжённо-деформированного состояния для этапа свободного формообразования купола. Предложенный алгоритм предназначен для автоматизированной системы расчёта технологических параметров процесса СПФ листовых материалов в эллипсоидальную матрицу.

Библиографические ссылки

1. Смирнов О.М. Обработка металлов давлением в состоянии сверхпластичности. М.: Машиностроение, 1979. 184 с.
2. Валиев Р.З., Александров И.В. Объёмные наноструктурные материалы: получение, структура и свойства. М.: Наука. 2007. 224 с.
3. Круглов А.А., Лутфуллин Р.Я. Перспективы применения наноструктурных титановых сплавов в машиностроении // Проблемы машиностроения и надёжности машин. 2009. № 1. С. 69–72.
4. Padmanabhan K.A., Vasin R.A., Enikeev F.U., Superplastic Flow: Phenomenology and Mechanics, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg, Germany. 2001. 363 p.
5. Pilling J., Ridley N. Cavitation in superplastic alloys and the effect of hydrostatic pressure // Res. Mechanica, 1988. Vol. 23. P. 31–63.
6. Сафиуллин Р.В., Еникеев Ф.У. Расчёт режимов сверхпластической формовки протяжённой прямоугольной мембранны // Кузнечно-штамповочное производство. 2001. № 3. С. 35–40.
7. Аюпов И.Ф., Загиров Т.М., Еникеев Ф.У. Влияние роста зёрен на режимы деформирования протяжённой прямоугольной мембранны в состоянии сверхпластичности // Металлообработка (СПб.). 2010. № 4. С. 22–27.
8. Еникеев Ф.У. Расчёт оптимального закона подачи давления для процесса сверхпластической формовки круглой мембранны // Проблемы машиностроения и надёжности машин. 1995. № 1. С. 64–68.
9. Enikeev F.U., Kruglov A.A. An analysis of the superplastic forming of a thin circular diaphragm // International Journal of Mechanical Sciences, 1995. Vol. 37. P. 473–483.
10. Загиров Т.М., Круглов А.А., Еникеев Ф.У. Идентификация реологических параметров сверхпластичности по результатам тестовых формовок листовых материалов при постоянном давлении // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2010. № 9. С. 48–56.

Уважаемые читатели!

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

УДК 66:621.929

В.М. Васин, канд. техн. наук, доц. (Тульский государственный университет)
nsi-il@yandex.ru

ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ЧАСТИЦ В ПОТОКАХ КОМПОНЕНТОВ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В СМЕСИТЕЛЯХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Получено выражение для распределения массы частиц в отрезках потоков компонентов сыпучих материалов в смесителях непрерывного действия, установлено его зависимость от основных параметров распределения массы частицы, количества частиц, производительности дозирующего устройства и скорости транспортирующего органа.

Ключевые слова: сыпучие материалы, непрерывное смешивание, закон распределения массы частиц.

Expression for definition of the particles weight distribution in the streams pieces of the bulk material components in continuous mixers is received. This expression dependence on fundamental parameters of the particle weight distribution, particles quantity, measure facility productivity and transport facility velocity is established.

Key words: bulk material, continuous mixing, particles weight distribution law.

Введение. Ранее был предложен [1, 2] непрерывный способ смешивания сыпучих материалов, заключающийся в наложении один на другой различных потоков всех компонентов. Поток каждого компонента представляет собой последовательность движущихся на некотором случайном расстоянии одна от другой частиц, образующуюся в результате поштучной выдачи частиц дозирующим устройством на движущийся транспортирующий орган. Поток смеси рассматривается как суперпозиция потоков компонентов; поток каждого компонента – как суперпозиция его элементарных потоков частиц. Элементарный поток образуется на транспортирующем органе, движущемся со скоростью v_c , в результате поштучной подачи на него частиц компонента производительностью P_e из одного ручья дозирующего устройства.

В зависимости от наличия или отсутствия корреляционной связи интервалов между частицами сыпучего материала для исследования элементарного потока предложено использовать линейные стационарные модели [3] или математический аппарат теории рекуррентных потоков [2]. Это позволило получить параметры и проанализировать точность элементарных потоков, суперпозиции элементарных потоков, оценить качество смешивания, а также влияние характера и параметров различных элементарных потоков компонентов на характеристики потока смеси. При получении этих результатов принято допущение об отсутствии рассеяния масс частиц компонентов. Точность элементарных потоков, их суперпозиций и качество смешивания выражены коэффициентами вариации количества частиц в отрезках потоков компонентов и смеси.

В работе [4] для учёта реального рассеяния масс частиц сыпучих материалов представлены выражения для первых двух моментов распределения массы частиц на отрезке ΔL_e в виде зависимостей от параметров распределения количества частиц и массы частицы

$$M\{m_{v_e(\Delta L_e)}\} = M\{m\}M\{v_e(\Delta L_e)\}; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} D\{m_{v_e(\Delta L_e)}\} = & M^2\{m\}V^2\{m\}M\{v_e(\Delta L_e)\} + \\ & + [M\{m\}]^2M^2\{v_e(\Delta L_e)\}V^2\{v_e(\Delta L_e)\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $M\{m_{v_e(\Delta L_e)}\}$, $D\{m_{v_e(\Delta L_e)}\}$ – математическое ожидание и дисперсия массы $v_e(\Delta L_e)$ частиц на отрезках длиной ΔL_e элементарного потока; $M\{m\}$ – математическое ожидание массы частицы; $M\{v_e(\Delta L_e)\}$ – математическое ожидание количества частиц $v_e(\Delta L_e)$ на отрезках длиной ΔL_e элементарного потока; $V\{m\}$, $V\{v_e(\Delta L_e)\}$ – коэффициенты вариации массы частицы и количества частиц.

Кроме этого, получена оценка точности элементарных потоков в виде зависимости коэффициента вариации массы частиц на отрезке длиной ΔL_e от параметров распределения массы частицы и количества частиц.

Закон распределения массы частиц. Наиболее полной характеристикой случайной величины является её закон распределения. В данном случае закон распределения массы $v_e(\Delta L_e)$ частиц на отрезке длиной ΔL_e элементарного потока [4] получен следующим образом.

На выбранном в произвольном участке потока отрезке длиной ΔL_e находится случайное количество частиц $v_e(\Delta L_e)$. Очевидно, что $v_e(\Delta L_e)$

зависит от величины ΔL_e и, как показано в работах [1, 2], от производительности дозирующего устройства P_e и скорости транспортирующего органа v_c .

Допустим, что случайная величина $v_e(\Delta L_e)$ принимает значения в соответствии с нормальным законом $f\{v_e(\Delta L_e) = v\}, v = 1, 2, \dots, N_e$ с параметрами, определёнными в работе [2]:

$$\begin{aligned} M\{v_e(\Delta L_e)\} &= \frac{\Delta L_e}{M\{l_e\}} = \frac{P_e}{v_c} \Delta L_e; \\ D\{v_e(\Delta L_e)\} &\approx [V\{l_e\}]^2 \frac{\Delta L_e}{M\{l_e\}} = [V\{l_e\}]^2 \times \\ &\times M\{v_e(\Delta L_e)\} = \frac{P_e^3 ab^{c/P_e}}{v_c} \Delta L_e, \end{aligned}$$

где $M\{l_e\}, V\{l_e\}$ – математическое ожидание и коэффициент вариации величины интервала между смежными частицами; a, b, c – коэффициенты, определяемые экспериментально.

Введём обозначения: m – масса одной частицы, m_{v_e} – масса v_e частиц на отрезке длиной ΔL_e . Допустим, что массы всех $v_e(\Delta L_e)$ частиц m_1, m_2, \dots являются независимыми, одинаково нормально распределёнными случайными величинами с плотностью $f\{m\}$. В этом случае плотности распределения сумм случайных величин $(m_1 + m_2), (m_1 + m_2 + m_3), \dots, (m_1 + m_2 + \dots + m_{N_e})$ являются композициями соответственно 2-х, 3-х, ..., N_e нормальных распределений.

Учитывая принятые допущения и используя формулу полной вероятности [5] выражение для плотности распределения массы m_{v_e} частиц на отрезке элементарного потока длиной ΔL_e получено в общем виде:

$$f\{m_{v_e}(\Delta L_e)\} = \sum_{v_e=1}^{N_e} f_{v_e}\{m\} f_{v_e}\{v_e(\Delta L_e)\}. \quad (3)$$

Это выражение может быть представлено в виде зависимости плотности распределения массы частиц m_{v_e} от основных параметров распределения случайных величин m и $v_e(\Delta L_e)$. С этой целью и для удобства анализа результатов дисперсию массы частицы и дисперсию количества частиц выразили через их математические ожидания и коэффициенты вариации:

$$D\{m\} = M^2\{m\} \cdot V^2\{m\},$$

$$D\{v_e(\Delta L_e)\} = M^2\{v_e(\Delta L_e)\} \cdot V^2\{v_e(\Delta L_e)\}.$$

В результате с учётом принятых выше допущений о распределениях m и $v_e(\Delta L_e)$ выражение (3) преобразовано к виду

$$\begin{aligned} f\{m_{v_e}(\Delta L_e)\} &= \sum_{v_e=1}^{N_e} 1/(2\pi\sqrt{v_e} \cdot M\{m\} \cdot V\{m\} \times \\ &\times M\{v_e(\Delta L_e)\} \cdot V\{v_e(\Delta L_e)\}) \times \\ &\times \exp \left\{ -\frac{[m_{v_e} - v_e \cdot M\{m\}]^2}{2v_e \cdot M^2\{m\} \cdot V^2\{m\}} - \right. \\ &\left. - \frac{[v_e - M\{v_e(\Delta L_e)\}]^2}{2M^2\{v_e(\Delta L_e)\} V^2\{v_e(\Delta L_e)\}} \right\}. \quad (4) \end{aligned}$$

Принимая во внимание полученные в работе [2] результаты, последнее выражение преобразовано в зависимость плотности распределения массы частиц от производительности дозирующего устройства P_e и скорости транспортирующего органа v_c :

$$\begin{aligned} f\{m_{v_e}(\Delta L_e)\} &= \sum_{v_e=1}^{N_e} \sqrt{v_e} / (2\pi\sqrt{v_e} \cdot M\{m\} \cdot V\{m\} \times \\ &\times \sqrt{P_e^3 \Delta L_e ab^{c/P_e}}) \times \exp \left\{ -\frac{[m_{v_e} - v_e \cdot M\{m\}]^2}{2v_e \cdot M^2\{m\} \cdot V^2\{m\}} - \right. \\ &\left. - \frac{[v_e \cdot v_c - P_e \cdot \Delta L_e]^2}{2v_c P_e^3 \Delta L_e ab^{c/P_e}} \right\}. \end{aligned}$$

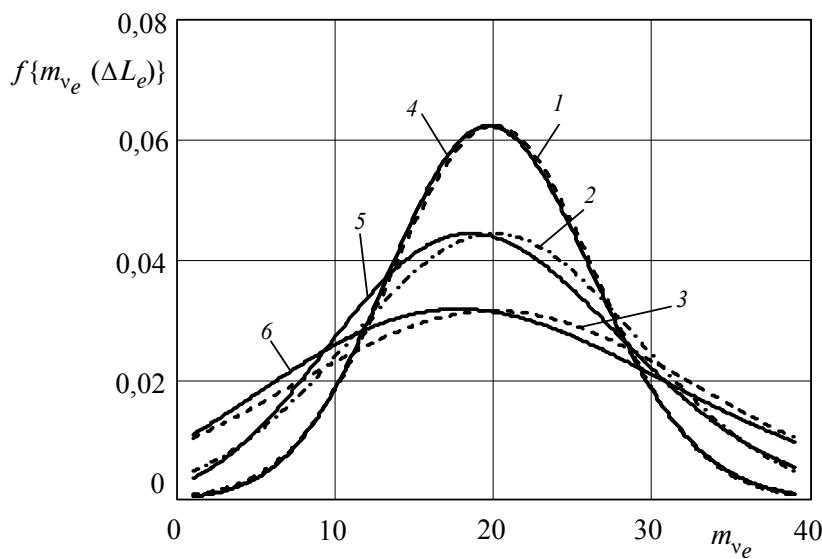
При расчётах $f\{m_{v_e}(\Delta L_e)\}$ величину N_e с учётом свойств нормального распределения $v_e(\Delta L_e)$ достаточно принять равной:

$$\begin{aligned} N_e &= M\{v_e(\Delta L_e)\} \cdot [1 + 3V\{v_e(\Delta L_e)\}] = \\ &= \frac{P_e}{v_c} \Delta L_e \left(1 + 3\sqrt{\frac{P_e v_c ab^{c/P_e}}{\Delta L_e}} \right). \end{aligned}$$

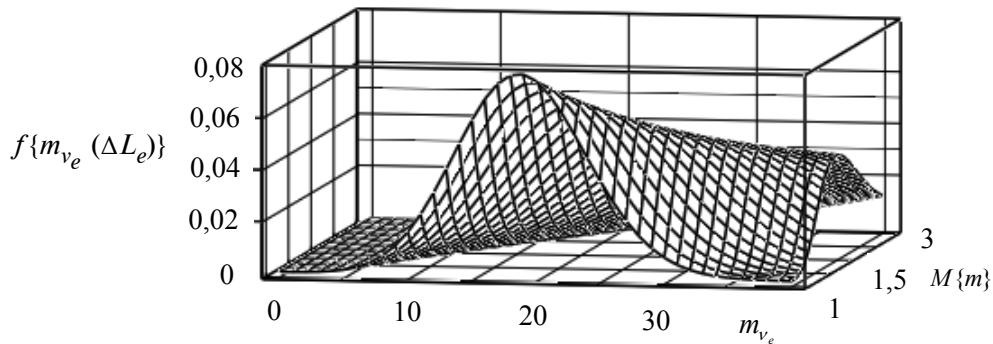
Кривая распределения массы частиц (4) имеет одну моду и положительную асимметрию (рис. 1).

Асимметрия увеличивается с увеличением рассеяния распределения числа частиц и рассеяния массы частицы. Пунктиром на рис. 1 показана и плотность нормального распределения массы частиц с параметрами (1) и (2). При небольших рассеяниях массы частицы и количества частиц плотность (4) близка к нормальному закону.

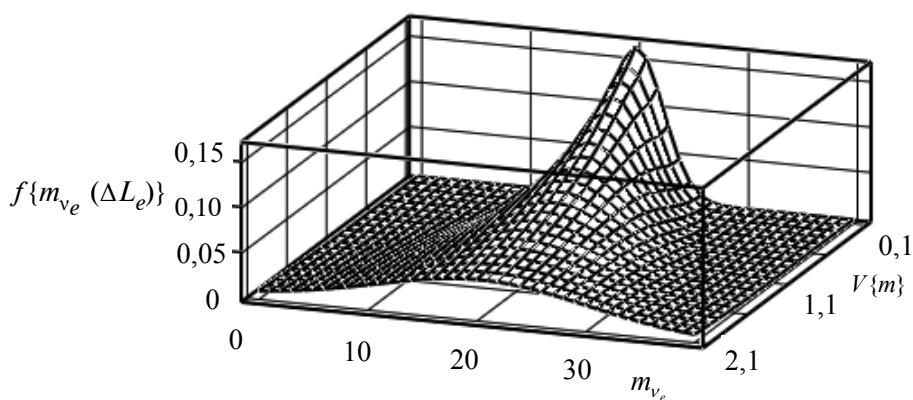
На рис. 2–4 представлена зависимость вида плотности распределения $f\{m_{v_e}(\Delta L_e)\}$ от массы частицы $M\{m\}$, её рассеяния $V\{m\}$ и производительности P_e .

**Рис. 1. Плотность распределения массы частиц m_{v_e} :**

1–3 – нормальное распределение с параметрами (1) и (2); 4–6 – плотность распределения (4); $M\{m\} = 1 \text{ г}$;
 $M\{v_e(\Delta L_e)\} = 20$; $V\{v_e(\Delta L_e)\} = 0,3$; 1, 4 – $V\{m\} = 0,5$; 2, 5 – $V\{m\} = 1$; 3, 6 – $V\{m\} = 2,5$

**Рис. 2. Зависимость вида распределения $f\{m_{v_e}(\Delta L_e)\}$ от массы частицы $M\{m\}$:**

$V\{m\} = 1$, $M\{v_e(\Delta L_e)\} = 20$, $V\{v_e(\Delta L_e)\} = 0,123$

**Рис. 3. Зависимость вида распределения $f\{m_{v_e}(\Delta L_e)\}$ от рассеяния массы частицы $V\{m\}$:**

$M\{m\} = 1 \text{ г}$, $M\{v_e(\Delta L_e)\} = 20$, $V\{v_e(\Delta L_e)\} = 0,123$

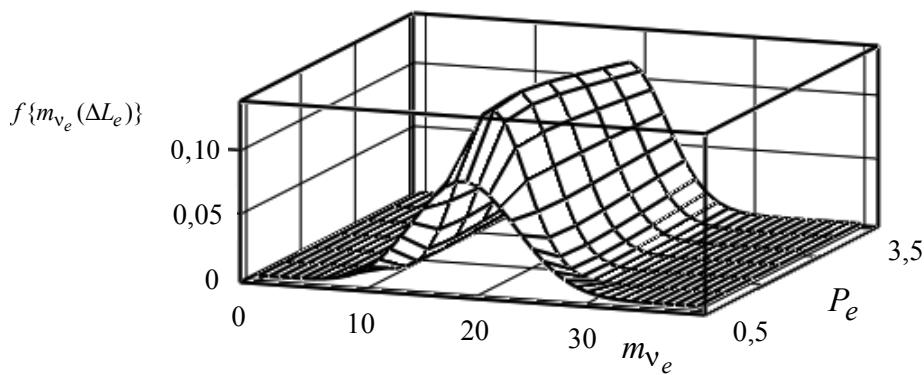


Рис. 4. Зависимость вида распределения $f\{m_{v_e}(\Delta L_e)\}$ от производительности P_e :
 $M\{m\} = 1$ г, $V\{m\} = 0,5$, $M\{l_e\} = 33,33$ мм, $\Delta L_e = 666,667$ мм

Если поток k -го компонента образуется в результате последовательного наложения один на другой E_k элементарных потоков [4], то масса частиц компонента на отрезке длиной ΔL_k равна $m_{v_k} = \sum_{e_k=1}^{E_k} m_{e_k}$, а распределение массы $f\{m_{v_k}(\Delta L_k)\}$ является композицией E_k одинаковых законов распределения $f\{m_{v_e}(\Delta L_e)\}$, $e_k = 1, 2, \dots, E_k$ и поэтому приближается к нормальному с параметрами

$$\begin{aligned} M\{m_{v_k}(\Delta L_k)\} &= M\{m\} \sum_{e_k=1}^{E_k} M\{v_{e_k}(\Delta L_k)\} = \\ &= M\{m\} \sum_{e_k=1}^{E_k} \frac{P_{e_k}}{v_c} \Delta L_k; \\ D\{m_{v_k}(\Delta L_k)\} &= M^2\{m\} M\{v_{e_k}(\Delta L_k)\} \sum_{e_k=1}^{E_k} [V^2\{m\} + \\ &\quad + M\{v_{e_k}(\Delta L_k)\} V^2\{v_{e_k}(\Delta L_k)\}] = \\ &= M^2\{m\} \sum_{e_k=1}^{E_k} \left[V^2\{m\} \frac{P_{e_k}}{v_c} \Delta L_k + \frac{P_{e_k}^3 \Delta L_k ab^{c/P_{e_k}}}{v_c} \right], \end{aligned}$$

где $v_{e_k}(\Delta L_k)$ – количество частиц k -го компонента на отрезке длиной ΔL_k из его e_k -го элементарного

потока; P_{e_k} – производительность одного ручья дозирующего устройства, образующего e_k -й элементарный поток.

Заключение. Получено выражение для закона распределения массы частиц на отрезке элементарного потока и отрезке суперпозиции элементарных потоков. Установлено влияние на вид распределения параметров элементарного потока частиц, рассеяния массы частицы, производительности дозирующего устройства и скорости транспортирующего органа.

Библиографические ссылки

1. **Васин В.М.** Способ приготовления однородных смесей сыпучих материалов // Автоматизация и современные технологии. 2003. № 3. С. 21–24.
2. **Васин В.М.** Исследование потоков сыпучих материалов в смесителях непрерывного действия // Автоматизация и современные технологии. 2006. № 3. С. 32–42.
3. **Васин В.М.** Основы теории потоков частиц сыпучих материалов в смесителях непрерывного действия // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 9. С. 10–17.
4. **Васин В.М.** Влияние рассеяния массы частиц сыпучих материалов на точность потоков в смесителях непрерывного действия // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 12. С. 3–6.
5. **Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.** Теория вероятностей и её инженерные приложения: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2000. 480 с.

УДК 656.073

В. Е. Быстрицкий, канд. техн. наук, доц.(Ульяновский научно-исследовательский и проектно-технологический
институт машиностроения)

uaps@bk.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ПОДВЕСНОЙ ДОРОГИ

Показаны преимущества электрифицированных подвесных дорог по сравнению с подвесными толкающими конвейерами, важнейшим из которых является упрощение кинематической цепи. Приведены сведения о разработанной и запущенной в эксплуатацию автоматизированной транспортной системе на базе электрифицированной подвесной дороги для перемещения тарно-штучных грузов.

Ключевые слова: автоматизированная транспортная система, подвесной толкающий конвейер, кинематическая цепь.

Electrify pendant roads advantages compared to pendant pushing conveyors the most important of which is the kinematic chain simplification is shown. Information on the automated transport system developed and started in operation on the basis of the electrify pendant road for container-piece cargoes movement are adduced.

Key words: automatic transport system, pendant pushing conveyor, kinematic chain.

Автоматизация технологических процессов, внедрение промышленных роботов и автоматических загрузочно-разгрузочных устройств (манипуляторов), создание гибких автоматизированных производств значительно повышают требования к производственным транспортным системам (ТС), которые должны обеспечивать подачу изделий на производственные участки с высокой точностью позиционирования, согласованную работу с технологическим оборудованием, возможность регулирования скорости транспортирования, гибкость и лёгкую приспособляемость трассы к возможным изменениям технологического процесса производства и обладать наименьшей стоимостью эксплуатации (Быстрицкий В.Е., Белов А.С., Халитов М.А. Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ / Под ред. В.Е. Быстрицкого. Ульяновск: УлГТУ, 2010. 279 с.).

В значительной степени указанным выше требованиям удовлетворяют подвесные ТС и ТС на основе подвесных толкающих конвейеров (ПТК). В то же время наличие в ПТК общего тягового органа (цепи) приводит к необходимости применения вспомогательных элементов: приводных и натяжных станций, роликовых батарей, автоматических смазчиков, что усложняет и утяжеляет конструкцию, а также ограничивает скорость транспортирования грузов.

Более эффективным решением является ТС на основе электрифицированной подвесной дороги

(ЭПД), являющейся монорельсовой дорогой, по которой перемещаются тележки, имеющие индивидуальный электропривод.

ЭПД имеет существенные преимущества по сравнению с ПТК. Отсутствие единого тягового органа (цепи) упрощает конструкцию ТС. Возможность модульного принципа компоновки трассы позволяет значительно упростить её монтаж и обслуживание. Наличие индивидуального электропривода тележек расширяет возможности автоматизации технологического процесса производства. Всё это делает ЭПД востребованной на предприятиях массового производства и в первую очередь на предприятиях автомобильной промышленности.

Ульяновским научно-производственным и проектно-технологическим институтом машиностроения (генеральный проектировщик) разработана, смонтирована и запущена в эксплуатацию автоматизированная ТС на базе ЭПД для перемещения тарно-штучных грузов в прессовом производстве АвтоВАЗа (рис. 1).

Техническая характеристика электрифицированной подвесной дороги

Длина трассы, м	840
Точность позиционирования подвижного состава, мм	± 5
Скорость подъёма и опускания груза опускной секции, м/с	0,05–0,5
Грузоподъёмность подвижного состава, кг	1000
Скорость движения, м/с	0,17–0,67

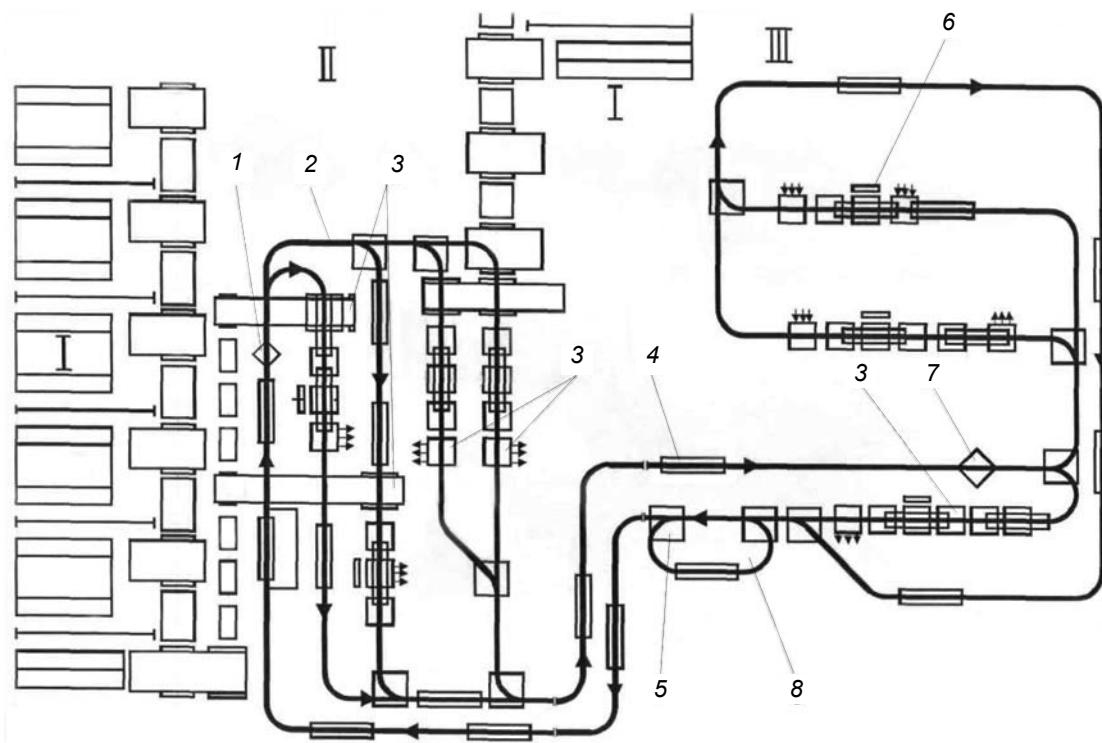


Рис. 1. Схема подвесной автоматизированной транспортной системы прессового производства ОАО «АвтоВАЗ»:

I – склад средней штамповки; II – зона склада; III – зона рампы; 1 – позиция ожидания в зоне склада; 2 – ходовой путь; 3 – напольная транспортная система; 4 – подвижной состав; 5 – стрелочный перевод; 6 – опускная секция; 7 – позиция ожидания в зоне рампы; 8 – ремонтный участок

ЭПД предназначена для перемещения из автоматизированного склада средней штамповки тары с деталями на отгрузочную рампу. Для складирования и транспортирования деталей применяется производственная тара массой 1000 кг (брутто) с габаритными размерами 1240×840×1050 мм.

Ходовой путь ЭПД выполнен из алюминиевого сплава и прикреплён к металлоконструкциям С-образными скобами. На ходовом пути (справа по ходу движения тележек) закреплён шинопровод, обеспечивающий подвод питания и команд управления к подвижному составу.

Два смежных участка ходового пути соединяются специальными стыковыми элементами и болтовыми соединениями. По верхней полке ходового пути движутся подвижные составы, транспортирующие тару с деталями.

Подвижной состав (рис. 2) скомпонован из двух приводных и двух неприводных тележек, соединённых между собой траверсой. Ходовое колесо приводной тележки приводится в движение специальным червячным мотор-редуктором с двухскоростным электродвигателем, имеющим встроенный тормоз.

На приводной головной тележке установлены приставка управления электродвигателем и буфер, на котором смонтирован бесконтактный

датчик, передающий сигнал на остановку подвижного состава при аварийном наезде подвижного состава друг на друга. Датчик срабатывает от воздействия кронштейна (пластины), смонтированного на хвостовой неприводной тележке состава.

Управление ЭПД осуществляется программируемыми контроллерами.

В ЭПД предусмотрены также пульты для управления стрелочными переводами и подвижным составом в наладочном режиме и при аварийных ситуациях.

Для передачи тары с деталями со склада в зону загрузки на подвижной состав и выгрузки её из грузовой подвески подвижного состава в зоне рампы служат цепные и роликовые конвейеры, а также опускные секции, работой которых управляют программируемые контроллеры.

После поступления подвижного состава на опускную секцию и при отсутствии блокирующих сигналов он опускается. В зоне рампы груженая тара выгружается и загружается порожня. Команда на подъём подвижного состава с груженой или порожней тарой (зоны склада или рампы) подаётся после поступления тары в грузовую подвеску. Груженые подвижные составы с опускными секциями в зоны склада или рампы переме-

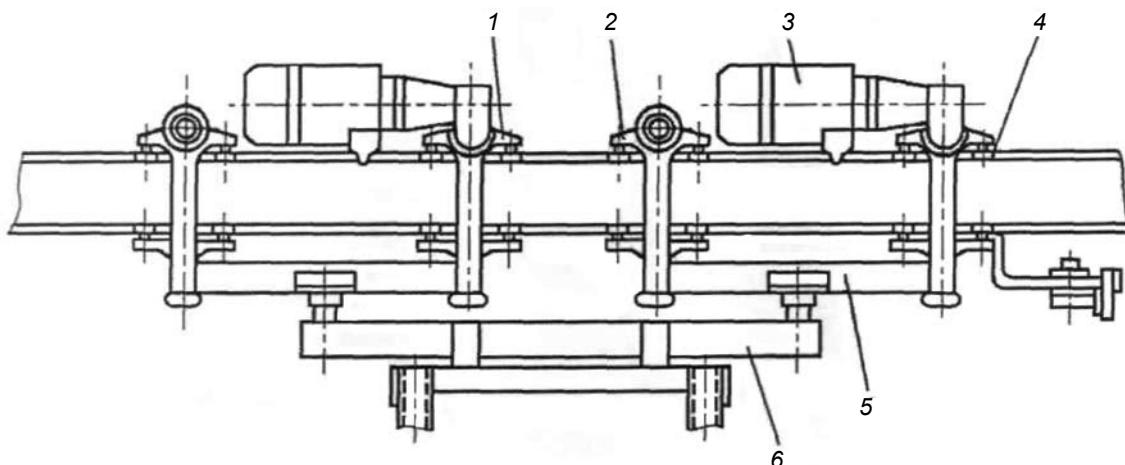


Рис. 2. Подвижной состав электрифицированной подвесной дороги:

1 – приводная тележка; 2 – неприводная тележка; 3 – мотор-редуктор; 4 – направляющий ролик;
5 и 6 – траверсы

щаются в автоматическом режиме. Адресование грузов отсутствует. Подвижные составы с позиций ожидания автоматически поступают на свободные опускные секции.

Движение подвижного состава по трассе осуществляется со скоростями 0,17 и 0,67 м/с. При заходе подвижного состава в зоны стрелочного

перевода, опускных секций, ремонтного участка автоматически снижаются скорости.

Применение ТС на основе ЭПД по сравнению с ТС на основе ПТК позволяет повысить скорость перемещения грузов до 2 м/с и уменьшить приведенный вес трассы с 85 до 17 кг/п.м.



ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ:

учебник для студентов машиностроительных специальностей
А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, А.Ф. Вязов и др.

6-е издание 592 с.: ил ISBN 5-217-03311-8

Цена 319 р.

Рассмотрены современные и перспективные технологические способы производства черных и цветных металлов, изготовление заготовок и деталей машин из металлов и неметаллических материалов: литьем, обработкой давлением, сваркой, резанием и другими способами, а также прогрессивные малоотходные способы изготовления заготовок и деталей из порошковых материалов.

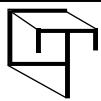
Шестое издание (5-е изд. 2003 г.) исправлено и дополнено новыми материалами по нанотехнологиям, публикацией задачника по всем основным разделам курса с доведением решения задач до числового значения. При этом обеспечивается очень тесная связь методического характера с учебным материалом в его приложении к технологии. В этом проявляется, в частности, старый мудрый принцип: "Знать – значит уметь!".

Учебник подготовлен коллективом преподавателей МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов машиностроительных специальностей вузов.

Гриф Минобрнауки

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский 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 681.513

К.А. Неусыпин, д-р техн. наук, проф.
 (Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана),
Кэ Фан, канд. техн. наук, **Дзя Ли Синь**
 (Юго-западный институт технической физики, г. Чэнду, Китай)
 kefang@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ И НАВЕДЕНИЕ РАКЕТ, ОСНОВАННОЕ НА ТЕОРИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Для ракет, управляемых комбинированным способом с помощью вектора тяги двигателя и аэродинамических сил, предложена точная линеаризация динамической модели с использованием обратной связи, основанная на теории дифференциальной геометрии. Разработаны независимые законы управления ракетами, проведено моделирование наведения ракеты на маневрирующий объект в вертикальной плоскости. Результаты моделирования продемонстрировали эффективность применения разработанного метода линеаризации.

Ключевые слова: линеаризация, дифференциальная геометрия, самонаведение.

The exact dynamic model linearization through the use of feedback based on the differential geometry theory is proposed for the rockets with combined control mode by means of the engine draft vector and aerodynamic forces. Independent rockets control laws are developed, the rocket pointing modeling on the object maneuvering in a vertical plane is carried out. Modeling results have shown application efficiency of the developed linearization method.

Key words: linearization, differential geometry, self-pointing.

Введение. Уравнения движения ракет в пространстве являются нелинейной моделью, включающей много коррелированных переменных. Управляющие законы разрабатываются на основе приближённой линеаризации при малых возмущениях [1]. При совершении ракетой интенсивных манёвров традиционный метод проектирования, основанный на классической теории управления, применять не представляется возможным [1–3]. Поэтому необходимо использовать методы проектирования с использованием нелинейной теории управления. Линеаризация с помощью обратной связи является методом, основанным на нелинейной теории управления, который применяется для управления и наведения ракет [1].

Основная идея этого метода состоит в превращении нелинейных динамических свойств нелинейной системы в линейные свойства с помощью алгебраических преобразований, на основе которых синтезируются управляющие законы с использованием линейной теории управления. Принципиальным отличием такой линеаризации по сравнению с приближённой линеаризацией при малых возмущениях является отсутствие потери информации о состоянии исходной нели-

нейной системы, т. е. такая линеаризация является точной. Теория дифференциальной геометрии позволяет эффективно реализовать точную линеаризацию. Метод дифференциальной геометрии развивается на основе понятия пространств состояния геометрической теории линейных систем и с использованием понятия дифференциальных многообразий. Методом дифференциальной геометрии преобразованием частных координат и нелинейной обратной связи по состоянию можно превращать модель нелинейной системы в стандартную линейную форму канонического типа с последовательными интегралами. Таким образом, существенно упрощается проектирование нелинейной системы [2]. В связи с этим для ракет, управляемых с помощью вектора тяги двигателя и аэродинамических сил, проведён синтез управляющих законов с использованием линеаризации, основанной на теории дифференциальной геометрии. Представлены результаты моделирования наведения ракеты на маневрирующий объект.

Математическая модель ракет при комбинированном управлении. Динамические уравнения ракет в вертикальной плоскости имеют следующий вид [3]:

$$\begin{cases} m \frac{dv}{dt} = -G \sin \theta + L_x + F \cos(\psi + \vartheta - \theta); \\ m \frac{d\theta}{dt} = -G \cos \theta + L_y + F \sin(\psi + \vartheta - \theta); \\ \frac{d\vartheta}{dt} = \omega_{zd}; \\ J_z \frac{d\omega_{zd}}{dt} = M_z + M_F, \end{cases} \quad (1)$$

где m – вес; J_z – инерциальный момент ракеты; v – скорость ракеты; θ – угол наклона траектории; ϑ – угол тангажа ракеты; ω_{zd} – угловая скорость по тангажу; G – сила тяжести; L_x – сила лобового сопротивления; L_y – подъёмная сила; M_z – аэродинамический момент; M_F – момент от тяги; F – тяга двигателя; ψ – угол поворота вектора тяги.

Аэродинамические силы, моменты, тяга и момент от тяги могут быть представлены следующим образом:

$$L_x = C_x Q S; \quad L_y = C_y Q S = (C_y^\alpha \alpha + C_y^\delta \delta) Q S;$$

$$M_z = m_z^\alpha \alpha Q S b + m_z^\delta \delta Q S b + m_z^{\omega_{zd}} \omega_{zd} \frac{b}{v} Q S b;$$

$$M_F = -F l \sin \psi; \quad G = mg; \quad \alpha = \vartheta - \theta;$$

$$F = I_s g \dot{m}_0; \quad Q = \frac{1}{2} \rho v^2,$$

где $C_x, C_y^\alpha, C_y^\delta, m_z^\alpha, m_z^\delta, m_z^{\omega_{zd}}$ – аэродинамические коэффициенты сил и моментов; ρ – плотность воздуха; S – аэродинамическая справочная площадь; b – средняя длина аэродинамической хорды; I_s – удельное закернивание; \dot{m}_0 – расход потока двигателя; g – ускорение силы тяжести; l – плечо тяги; α – угол атаки; δ – угол поворота аэродинамических рулей.

Динамические коэффициенты определяются по формулам:

$$k_{11} = -\frac{g}{v}; \quad k_{12} = \frac{C_y^\alpha \rho v S}{2m} + \frac{F}{mv};$$

$$k_{13} = \frac{C_y^\alpha \rho v S}{2m} + \frac{F}{mv}; \quad k_{14} = \frac{C_y^\delta \rho v S}{2m}; \quad k_{15} = \frac{F}{mv};$$

$$k_{21} = \frac{m_z^\alpha \rho v^2 S b}{2J_z}; \quad k_{22} = \frac{m_z^{\omega_{zd}} \rho v S b^2}{2J_z};$$

$$k_{23} = \frac{m_z^\delta \rho v^2 S b}{2J_z}; \quad k_{24} = -\frac{Fl}{J_z}.$$

Допустим, что $|\psi_{\max}| \leq 20^\circ$, $|\alpha_{\max}| \leq 20^\circ$, тогда справедливы $\sin \psi \approx \psi$, $\sin(\psi + \alpha) \approx \psi + \alpha$.

Последние три уравнения модели (1) примут вид

$$\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = k_{11} \cos \theta + k_{12} \vartheta - k_{13} \theta + k_{14} \delta + k_{15} \psi; \\ \frac{d\vartheta}{dt} = \omega_{zd}; \\ \frac{d\omega_{zd}}{dt} = k_{21} (\vartheta - \theta) + k_{22} \omega_{zd} + k_{23} \delta + k_{24} \psi. \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, динамическая модель ракеты в вертикальной плоскости преобразована в аффинную нелинейную модель с двумя управляемыми входами (δ и ψ) (угол поворота аэродинамических рулей и угол поворота вектора тяги):

$$\dot{x} = f(x) + \sum_{i=1}^2 g_i(x) u_i; \quad (3)$$

$$x = (\theta, \vartheta, \omega_{zd})^T; \quad u = (u_1, u_2)^T = (\delta, \psi)^T;$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} k_{11} \cos \theta + k_{12} (\vartheta - \theta) \\ \omega_{zd} \\ k_{21} (\vartheta - \theta) + k_{22} \omega_{zd} \end{bmatrix};$$

$$g_1(x) = \begin{bmatrix} k_{14} \\ 0 \\ k_{23} \end{bmatrix}; \quad g_2(x) = \begin{bmatrix} k_{15} \\ 0 \\ k_{24} \end{bmatrix}.$$

Линеаризация модели с помощью обратной связи и синтез управляемых законов. Для системы (3) выберем выходные функции $y_1 = h_1(x) = \theta(t)$, $y_2 = h_2(x) = \vartheta(t)$, а также используем производное Ли функций y_1 , y_2 относительно функции $f(x)$ и входных функций $g_1(x)$, $g_2(x)$.

Система (3) имеет относительную степень r , равную размерности системы n . Используем достаточное и необходимое условие линеаризации нелинейной системы с помощью обратной связи [1]. Поскольку относительная степень системы равна размерности системы, то система (3) может быть линеаризована за счёт обратной связи.

Систему (3) можно преобразовать в линейные системы канонического типа:

$$\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = z_1; \\ \frac{d\vartheta}{dt} = \omega_{zd}; \\ \frac{d\omega_{zd}}{dt} = z_2. \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, на основе линеаризации системы (3) превращена в две независимые и эквивалентные подсистемы (4), для которых имеется управляющий закон $z = (z_1, z_2)^T$. С помощью традиционных методов проектирования линейной системы определяем закон управления, при котором выходные параметры θ, ϑ удовлетворяют заданным требованиям.

При управлении с помощью вектора тяги и аэродинамических сил, с использованием теории дифференциальной геометрии проведена точная линеаризация математической модели ракеты. Реализованы независимые управляющие законы, что позволяет упростить процесс поиска управляющих законов угла поворота аэродинамических рулей и угла поворота вектора тяги (δ, ψ).

Моделирование наведения ракет на маневрирующий объект. Проведено моделирование наведения ракеты на маневрирующий объект в вертикальной плоскости. Пусть объект совершает манёвр типа «змейка» в вертикальной плоскости. Тогда уравнение движения объекта имеет вид

$$\begin{cases} \frac{dx_t}{dt} = v_t \cos \theta_t; \\ \frac{dy_t}{dt} = v_t \sin \theta_t, \end{cases} \quad (5)$$

где x_t, y_t – координаты местоположения объекта; v_t – скорость маневрирования.

Угол наклона вектора скорости θ_t изменяется по закону:

$$\theta_t = 10^\circ \sin(2\pi ft), \quad f = 0,1 \text{ Hz}.$$

При скорости 200 м/с максимальная перегрузка маневрирующего объекта достигает 2,2g.

В моделировании заданы ограничения на угол поворота аэродинамических рулей и угол поворота вектора тяги:

$$|\delta_{\max}| \leq 30^\circ, \quad |\psi_{\max}| \leq 20^\circ.$$

Так как исследование проведено для проверки эффективности алгоритмов управления, то подсистемы наведения, привода и управления поворотом сопла двигателя рассматриваются как идеальные звенья.

При моделировании приняты следующие начальные условия запуска ракеты: высота 4000 м, скорость 266 м/с, угол скорости 5°, угол тангажа ракеты 10°, горизонтальная координата ракеты принимается равной нулю.

Предполагаем, что во время запуска ракеты объект начинает манёвр из начального положения (x_{t0}, y_{t0}) , где x_{t0}, y_{t0} представляют собой гори-

зонтальную и вертикальную координаты соответственно. Рассмотрены ситуации, когда горизонтальная координата x_{t0} находится в диапазоне от 200 до 1000 м. При таком диапазоне определяется предел координаты y_{t0} , что гарантирует успешную атаку ракеты. Атака считается удачной, если промах менее 0,5 м. Таким образом, получается диапазон эффективной атаки ракеты на маневрирующий объект на высоте 4000 м с начальным горизонтальным расстоянием между ракетой и объектом меньше 1000 м.

Моделирование проведено по точкам, когда координата x_{t0} равна 200, 300, 400, 500, 800 и 1000 м соответственно. Полученные данные координат y_{t0} приведены в таблице.

По результатам моделирования промах ракеты, начальная координата которого находится в области таблицы, меньше чем 0,5 м. Область эффективной атаки ракеты представлена на рис. 1.

Диапазон эффективной атаки при начальном горизонтальном расстоянии между ракетой и объектом больше чем 1000 м на рис. 1 не показан. Ограничение на максимальное начальное горизонтальное расстояние зависит от максимальной длительности полёта ракеты.

На рис. 2–8 показаны основные параметры движения и управления для ситуаций, когда атаки совершаются сверху и снизу относительно маневрирующего объекта.

Ситуация 1. Начальные координаты объекта $(x_{t0}, y_{t0}) = (500, 300)$ м.

На рис. 2 представлены траектории ракеты и объекта во время наведения, а на рис. 3 – процессы изменения угла наклона траектории, угла тангажа ракеты и угла линии визирования. Процесс изменения угла поворота аэродинамических рулей и угла поворота вектора тяги представлен на рис. 4 и 5 соответственно. Промах при данной атаке составляет 0,37 м с длительностью наведения 9,47 с.

Ситуация 2. Начальные координаты объекта $(x_{t0}, y_{t0}) = (1000, 3500)$ м.

Для ситуации 2 приведённые выше параметры также представлены на рис. 6–8 с одинаковыми обозначениями. Промах при данной атаке составляет 0,24 м с длительностью наведения 16,51 с.

Область эффективной атаки ракеты на маневрирующий объект

x_{t0}	200	300	400	500	800	1000
$y_{t0 \min}$	3900	3800	3800	3700	3400	3300
$y_{t0 \max}$	4200	4200	4400	4300	4700	4300
Δy_{t0}	300	400	600	600	1300	1000

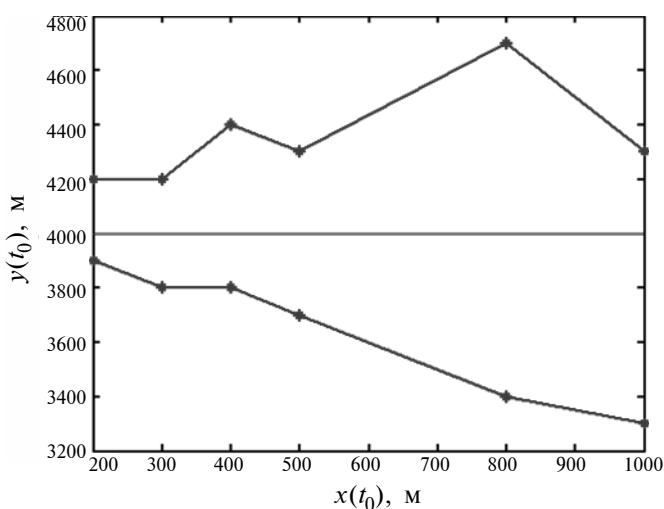


Рис. 1. Область эффективной атаки ракеты на маневрирующий объект

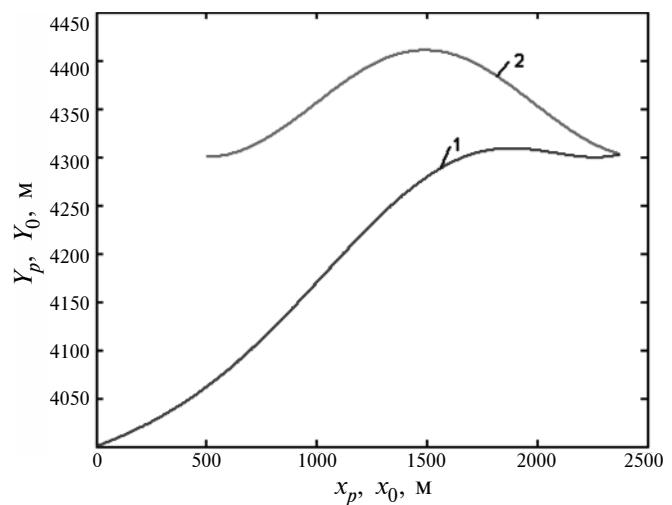


Рис. 2. Траектории ракеты (1) и объекта (2)

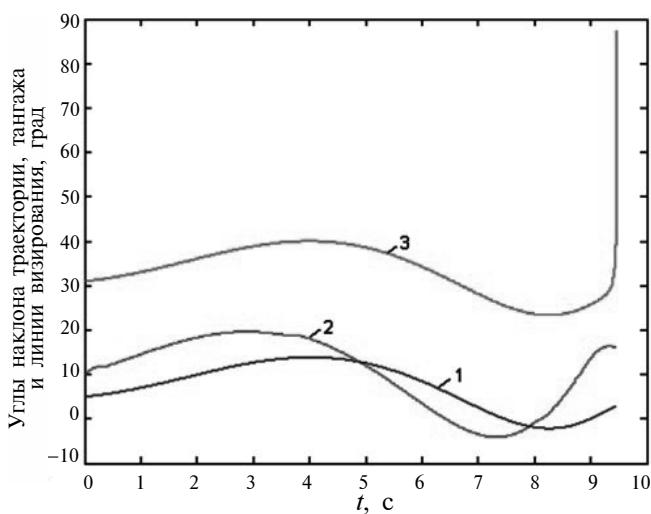


Рис. 3. Изменение углов наклона траектории 1, тангенса ракеты 2 и линии визирования 3

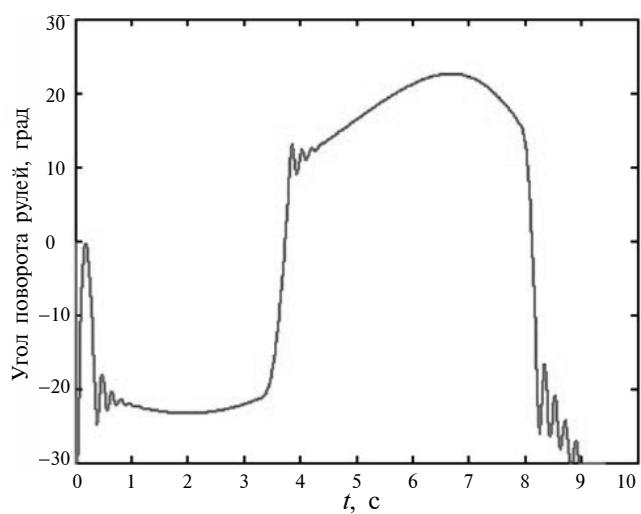


Рис. 4. Изменение угла поворота аэродинамических рулей

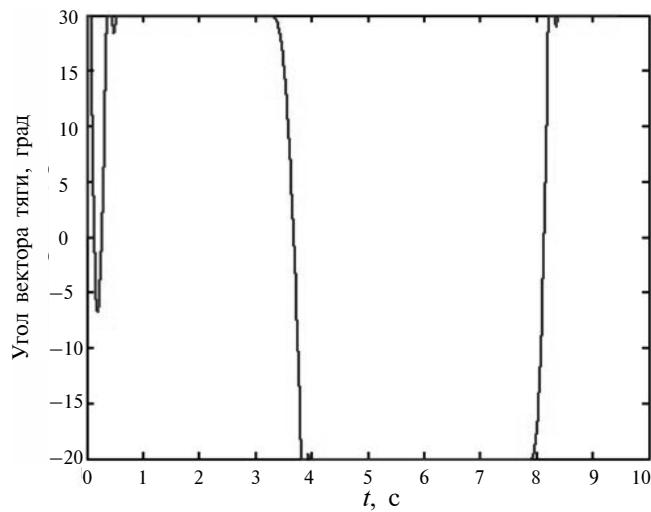


Рис. 5. Изменение угла поворота вектора тяги двигателя

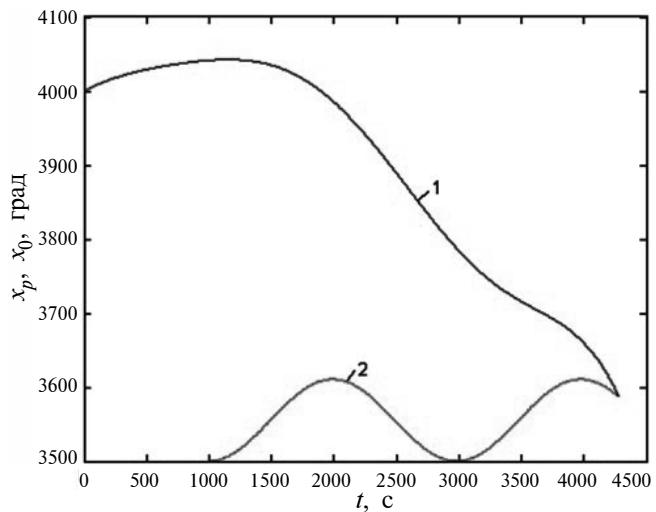


Рис. 6. Траектории ракеты (1) и объекта (2)

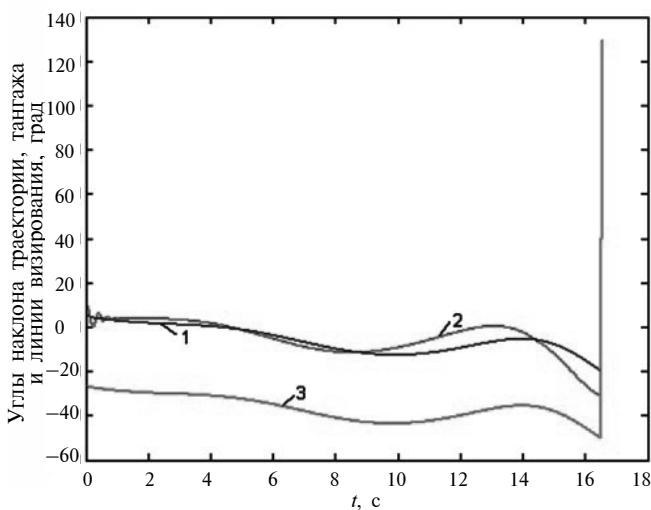


Рис. 7. Изменение углов наклона траектории 1, тангажа ракеты 2 и линии визирования 3

Заключение. Результаты теоретического анализа и моделирования подтверждают эффективность разработанного метода для ракет с комбинированным управлением с помощью вектора тяги двигателя и аэродинамических сил. Синтез управляющих законов проведён с использованием метода линеаризации, основанного на теории дифференциальной геометрии. Преимуществом разработанного метода является возможность совершения наведения ракет на маневрирующие объекты с высокой точностью при использовании традиционного закона наведения.

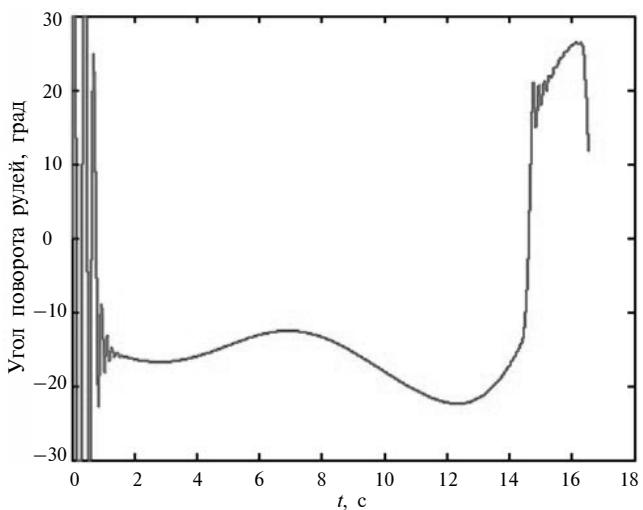


Рис. 8. Изменение угла поворота аэродинамических рулей

Библиографические ссылки

1. **Zhang You An, Hu Yun An.** Нелинейные методы проектирования систем управления и наведения ракет. Пекин: Изд-во оборонной промышленности, 2003. 177 с.
2. **Cheng Yun Long.** Проектирование автопилотов противовоздушных ракет. Пекин: Изд-во космонавтики, 1993. 400 с.
3. **Неусыпин К.А.** Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. М.: МГОУ, 2009. 500 с.



ИСПЫТАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ: учебник для вузов

В.А. Григорьев, С.П. Кузнецов, А.С. Гишваров и др.
Под общ. ред. В.А. Григорьева, А.С. Гишварова

2009. – 504 с.: ил. ISBN: 9-785-94275-435-8

Цена 550 р.

Изложены современные способы и методы испытаний авиационных двигателей различных типов. Наряду с традиционными вопросами измерений физических величин, видов испытаний и оборудования, их обеспечивающего, рассмотрены методы определения основных технических данных двигателей, специальные испытания, испытания для подтверждения ресурса, проанализированы пути совершенствования экспериментальной базы для испытаний. Особое место занимают вопросы автоматизации научных исследований и испытаний авиационных двигателей.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Двигатели летательных аппаратов», а также для специалистов авиадвигательных предприятий.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Строгинский 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 681.3.014

М.П. Фархадов, канд. техн. наук, **Д.Н. Душкин**
(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва)

mais@ipu.ru

СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ: ЭВОЛЮЦИЯ, ТЕКУЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ОБЛАСТИ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приводится обзор развития и основных характеристик сетецентрических систем, исследуется современное состояние, тенденции развития и свойства сетецентрических технологий. Описаны назначения и области применения этих технологий.

Ключевые слова: сетецентризм, сетецентрические системы, информационные технологии, консорциум индустрии сетецентрических технологий, автоматизированные системы массового обслуживания, сервис-ориентированная архитектура.

The review of the network centric development with basic characteristics is adduced; the current state, development tendencies and property of the network centric technologies are investigated. These technologies purpose and application sphere are described.

Key words: network centric, network centric systems, information technology, industry consortium of the network centric technologies, mass service automatic systems, service oriented architecture.

Введение. В последнее время термин «сетецентризм» приобретает повсеместное употребление. Сетецентрическими называют системы, методы управления, программное обеспечение (ПО) и другие сферы, связанные с работой в сетевой среде, однако часто встречаются разнотечения этого термина, неподходящее использование или даже профанация. Целями данной статьи являются: обзор существующих работ, организаций и тенденций в области сетецентрических технологий; установление рамок понятия «сетецентризм»; установление ключевых характеристик сетецентрической системы; определение областей дальнейших исследований.

Актуальность исследований определяется наличием в настоящее время большого количества разнородных и изолированных систем, что объясняется интенсивным развитием компьютерных, информационных и коммуникационных технологий в последнее десятилетие. Этот процесс, однако, имеет и свои негативные стороны, состоящие в том, что информация многократно дублируется, её достоверность снижается, защита данных не отвечает требованиям безопасности, а неравенство в доступе к данным растет. Решить эти проблемы можно с помощью организации сетевых структур нового типа, отвечающих современным требованиям по реaktivности, защищённости, доступности и надёжности.

Предполагается использовать сетецентрический подход в организации управления объединяемыми системами массового обслуживания, позволяющий повысить эффективность процессов принятия решений и способствующий фор-

мализации параметров, используемых для описания требований к системам.

В короткой истории развития компьютерных систем можно чётко выделить ряд основных этапов, которые характеризуются преобладающей архитектурой построения таких систем как:

сервер;
«тонкий» клиент – сервер и «толстый» клиент – сервер БД;
клиент – сервер;
двухуровневая архитектура (клиент – веб-сервер – сервер БД);
архитектура с тремя и более уровнями (клиент – веб-сервер – сервер приложений – сервер БД);
одноранговая (пионговая, p2p) архитектура;
сервис-ориентированная архитектура.

Все типы архитектур кроме последней, подробно описаны в технической литературе, поэтому в статье они не рассматриваются.

Каждая новая архитектура появляется вследствие повышения сложности информационных систем: размер хранимой информации каждый год удваивается, число пользователей систем увеличивается в геометрической прогрессии, появляются различные сервисы, работающие на различных платформах и т. д. Современным решением этой проблемы явился *сетецентрический подход* к проектированию информационных систем, в основе которого лежит *сервис-ориентированная архитектура*.

Сервис-ориентированная архитектура (service-oriented architecture, SOA) – модульный подход к разработке информационных систем, в основе которого лежит разработка сервисов со стандар-

тизированными интерфейсами [1]. С 2005 г. этот подход получил широкое распространение в корпоративных системах, поскольку позволил унифицировать разработку различных элементов системы, при этом сохраняя обратную совместимость с наследственным ПО за счёт написания для них стандартизованных интерфейсов.

В следующей части статьи рассматриваются два этапа развития сетевентрического подхода: военные научные исследования и прикладные исследования, применяющие сетевентрический подход для улучшения архитектуры информационных систем.

История развития сетевентрического подхода.

Само понятие «сетевентризм» появилось задолго до сервис-ориентированной архитектуры и с тех пор было несколько раз изменено и переосмыслено. Как и многие технологии и концепции, сетевентризм берёт своё начало в военной отрасли. Ко второй половине 90-х годов Министерство обороны США пришло к единому видению будущего вооружённых сил. Ключом к новому этапу развития отрасли явился новый подход, тесно связанный с использованием последних разработок в области информационных и сетевых технологий. Это видение было описано в работе «Copernicus: C4ISR for the 21st Century» в 1995 г. [2]. В ней описывался полученный опыт внедрения программы развития военной отрасли «Коперник», опубликованной в 1990 г. На основе этого опыта были сформулированы ключевые концепции, на развитии которых планировалось сосредоточиться в следующие пять лет, в их числе:

обеспечение общей тактической картины боевым единицам для повышения уровня ситуациионной осведомлённости;

объединение военных сил в глобальную систему обмена информацией (GLOBIXS);

предоставление доступа боевым единицам к сенсорам (sensors-to-shooter);

информационное превосходство.

В 1996 г. адмирал ВМС США Уильям Оуэнс представил новую концепцию «системы систем» в одноимённом докладе [3], в основу которой лёг анализ плодов третьей революции в военной отрасли (первая революция – распад СССР, окончание холодной войны, провозглашение США как единственной супердержавы; вторая – перераспределение ресурсов США из военной отрасли на развитие внутренних программ). Третья революция – так называемая «революция в военном деле» – стала результатом ранних инвестиций в передовые электронные и вычислительные технологии, что позволило военной отрасли сделать большой рывок в развитии и переосмыслении технологий ведения боевых действий. Такое развитие породило множество отдельных систем, каждая из которых решает свои узкие задачи, но

при этом может функционировать автономно. Новой задачей военной отрасли стало *объединение* новых систем в единую систему систем, обладающую следующими характеристиками:

наличие отдельного пространства знаний о поле боя (dominant battlespace knowledge), включающего всё необходимое: от автоматического определения целей до знаний о намерениях противника и его инфраструктуре;

наличие средств ведения информационной войны;

гибкое перераспределение резервных боевых сил для обеспечения живучести системы в целом.

Непосредственно термин «сетевентризм» впервые появился в 1997 г. году в работе вице адмирала Себровски и секретаря министерства обороны США Гарстка «Сетевентрические боевые действия (СБД): настоящее и будущее» [4].

В работе говорилось, что эволюция экономики, информационных технологий, бизнес процессов и организаций привела к трём основным изменениям:

переходу от единой платформы к единой сети;

переходу от восприятия субъектов как независимых к восприятию их как части постоянно развивающейся экосистемы;

увеличению роли стратегических решений, направленных на адаптацию к изменяющейся экосистеме.

Под «платформой» подразумевается действующая единица. В информационных технологиях этот термин используют для обозначения единственного суперкомпьютера, или ПК, не имеющего доступа к сети. В военной отрасли – это какая-либо боевая единица, слабосвязанная с другими боевыми единицами.

Вместе с изменениями в типе экономики (от стабильной к инвестиционной), основными технологиями (от платформо-центрических к сетевентрическим) должна измениться и военная отрасль [4]. Изменения должны начаться «снизу – вверх», то есть ключевыми фигурами становятся «крайние» элементы системы, в контексте боевых действий – это солдаты на поле боя. За счёт использования продвинутых систем обмена информацией элементы системы приобретают новое свойство – способность к самосинхронизации. Самосинхронизация позволяет осуществлять деятельность передовых элементов системы в соответствии с поставленной задачей и быстро реагировать на изменяющуюся ситуацию. В нижеприведённой цитате из этой работы даётся следующее описание сетевентризма: «Успех сетевентрических боевых действий обусловлен использованием сетевых технологий, связывающих хорошо информированные, но географически разнесённые силы. Элементы системы объедине-

ны в высокопроизводительную информационную сеть, предоставляющую доступ ко всем необходимым источникам данных и орудийным установкам. Эффективность процессов командования и управления растёт за счёт использования элементов системы, отвечающих за высокоскоростное автоматизированное распределение ресурсов».

В 2003 г. была опубликована книга «Power to the Edge» [5]. В названии книги скрыта основная концепция, радикально меняющая понимание управления процессами и системами, которую можно перевести, как «усиление передовых позиций». Усиление означает большее делегирование полномочий, предоставление всей информационной картины и свободы принимать собственные решения, соотносящиеся с общими миссиями и целями. Передовые позиции – это любая организация или человек, которые находятся в низшей точке иерархии, непосредственно выполняющие работу (в контексте военных операций, участвующие в сражении). Следствиями реализации такой концепции являются:

достижение ситуационной осведомлённости (см. ниже) вместо создания единой картины всей операции;

самосинхронизирующиеся (см. ниже) операции вместо автономных;

совместные действия вместо индивидуальных; коллективные данные вместо частных; использование корпоративных сервисов вместо отдельных инфраструктур;

использование одноранговой (p2p) топологии вместо иерархической.

Также в 2003 г. публикуется одна из последних концептуальных работ, посвящённых вопросу сетевоцентрических операций, «Network-Centric Warfare – Its Nature and Modelling» [6]. В этой работе сотрудники австралийской исследовательской организации при министерстве обороны Австралии выделяют ряд основных характеристик сетевоцентрической системы и иллюстрируют их соответствующими метриками.

Перечислим основные характеристики сетевоцентрических систем и дадим им краткие определения:

Скорость принятия решений (speed of command) – время, необходимое для прохождения полного цикла Бойда Наблюдение – Ориентация – Решение – Действие (Observe – Orient – Decide – Act, OODA) [7]. Такой цикл включает в себя:

сбор информации с внутренних и внешних источников – наблюдение;

формирование множества возможных вариантов и оценка каждого из них по совокупности критериев – ориентация;

Характеристики сетевоцентрической системы, упорядоченные в иерархической структуре

Высший уровень – характеристики сетевоцентрической системы		
Скорость принятия решений	Уровень подвижности, связанный с возможностью концентрации воздействий	Распределённая ситуационная осведомлённость
Второй уровень – характеристики решений		
Степень самосинхронизации	Интероперабельность	Полновесность
Третий уровень – характеристики информации		
Операции, основанные на воздействиях	Своевременность	Возраст, употребительность
Информационное превосходство	Непротиворечивость	Полнота
Возможность доступа к нелокальным ресурсам	Конфиденциальность	Достоверность
	Степень взаимосвязанности	
Четвёртый уровень – общие характеристики сети		
Доступность	Взаимосовмещаемость	Покрытие, гетерогенность
Надёжность	Живучесть	Безопасность
Базовый уровень – физические свойства		
Пропускная способность, топология сети, скорость работы серверов и т. д.		

выбор наилучшего плана действий для практической реализации — решение;

практическая реализация избранного плана действий — действие.

Подвижность, связанная с возможностью концентрации воздействий (level of agility coupled with the ability to amass effects) — способность накопления сил в определённой точке на боевом поле с последующей быстрой реорганизацией и готовностью к следующему сбору при необходимости.

Самосинхронизация (self-synchronisation) — способность корректировать поведение в соответствии с действиями других участников системы и общей целью.

Уровень распределённой ситуационной осведомлённости (level of shared situational awareness) — степень общности выводов, к которым приходят участники системы по мере поступления информации, и действий, которые они планируют впоследствии.

Возможность проведения операций, основанных на воздействиях (ability to conduct effects-based operations) — действия, направленные против процесса принятия решений противником и возможности принятия мер в определённый согласованный момент [6]. Цель таких операций — намерение противника нападать.

Возможность доступа к нелокальным ресурсам (reachback) — возможность использовать ресурсы, географически расположенные вне зоны боевых действий. Например, консультации удалённых аналитиков.

Информационное превосходство (information superiority) — это состояние дисбаланса в пользу одного участника в информационной сфере.

Интероперабельность в рамках информационного пространства (interoperability in the information domain) — способность сил к подготовке, осуществлению и эффективному совместному взаимодействию с целью выполнения поставленных задач и целей [8].

В этой работе также даётся ещё одно определение сетцепентрических боевых действий: «Сетцепентрические боевые действия — это управление боевыми операциями с использованием сетевых ИС с целью порождения гибких и подвижных боевых сил, которые действуют согласно общей цели вне зависимости от географического и организационного расположения отдельных элементов и в которых действия боевых единиц диктуются не индивидуальными или техническими проблемами, но общим успехом в достижении миссии благодаря совместным усилиям команды, целевой группы или коалиции».

Фактически, начиная с 2003 г., концепция сетцепентрических операций выходит из теоретических рассуждений в область практической реализации. Так, в этом же 2003 г. начинаются работы

над документом NESI (Net-Centric Enterprise Solutions for Interoperability) [9] — набором руководств для построения сетцепентрических систем. Этот документ является совместной инициативой ВМС США и агентства защиты информационных систем США. Документ состоит из шести частей, общим объёмом 1300 страниц и разрабатывается до сих пор. Последняя версия документа датируется 26 октября 2010 г. В этом документе также присутствует определение сетцепентрических боевых действий, но оно слишком велико для цитирования в настоящей статье.

В 2004 г. формируется центральная организация по продвижению и развитию идей сетцепентрических систем — консорциум индустрии сетцепентрических операций (NCOIC, Network-centric Operations Industry Consortium). NCOIC — некоммерческая организация, целью которой является интеграция существующих и новых открытых стандартов в общий развивающийся глобальный фреймворк, использующий общий набор принципов и процессов для быстрой глобальной разработки сетцепентрических приложений.

В NCOIC входят ведущие компании обороны, образовательные институты, правительственные агентства, поставщики технологий и услуг, группы стандартизации и системные интеграторы, такие как: Boeing, Cisco, IBM, American Red Cross, Raytheon, Microsoft, SAAB и др.

NCOIC вводит понятие «сетцепентрические операции» в дополнение к «сетцепентрическим боевым действиям». В своих продуктах, речь о которых пойдет ниже, NCOIC рекомендует к использованию сервис-ориентированную архитектуру и архитектуру сервисных компонент (Service Component Architecture, SCA). Ключевые разработки NCOIC являются открытыми продуктами, предназначенными для использования любой заинтересованной стороной вне зависимости от страны и происхождения, конечной цели использования системы или участия в NCOIC. По завершению работ каждый продукт NCOIC будет доступен бесплатно.

В марте 2007 г. «Сотрудничество развития открытых сервис ориентированных архитектур» (OSOA — Open Service Oriented Architecture collaboration) выпускает первую версию спецификации архитектуры сервисных компонент. OSOA представляет группу лидеров индустрии компьютерных разработок (IBM, Oracle, RedHat, Zend и др.), объединённых с целью создания независимой от языка программирования модели, которая удовлетворит требованиям корпоративных разработчиков сервис ориентированных систем.

В сентябре 2007 г. открытая организация по стандартизации «Организация развития стандартов структурированной информации» (OASIS — Organization for the Advancement of Structured

Information Standards), совместно с новой внутренней секцией OASIS «Архитектура составных сервисов» (CSA – Composite Service Architecture), начинают работу над стандартизацией спецификаций CSA. К настоящему моменту OASIS продолжает выпускать и совершенствовать стандарты, связанные с CSA. В частности были выпущены стандарт эталонной архитектуры и модели сервисных компонент, реализации стандартов на различных языках программирования (Java, C++, PHP и др.) и другие работы.

И в этом же 2007 г. министерство обороны США выпускает новую версию документа «Эталонная модель построения архитектуры предприятий» (DoDAF – Department of Defense Architecture Framework) [10], которая включает в себя поправки с учётом сетевоцентрической концепции. DoDAF разрабатывается с 1990 г. и является неким аналогом эталонной модели OSI, но в области построения архитектур информационных систем. Указаниям DoDAF должны следовать все организации, которые создают информационные системы для правительства США.

Как можно видеть из представленного экскурса, история становления и развития идей сетевоцентризма неразрывно связана с историей общества и экономики. По сути сетевоцентризм – это воплощение процесса глобализации в мире информационных систем. За время развития сетевоцентризма ему было дано множество определений и введено немало смежных понятий. Авторы предпочитают руководствоваться понятиями и определениями, приведёнными в NCOIC Lexicon [11]:

Сетевоцентричность (net-centricity) – концепция, позволяющая авторизованной, доверенной и проверенной информации предоставляться и совместно использоваться авторизованными пользователями, приложениями и платформами в бесшовной манере без предварительного знания о том, какая информация доступна или необходима.

Сетевоцентризм (network-centric) – соотносится с системами и шаблонами поведения, значительно подверженным влиянию сети или включенным в сеть и в сетевые технологии. Часто в центр помещается *ip*-сеть, но иногда этот термин употребляется для обозначения использования сети любого типа.

Сетевоцентрические боевые действия (СБД) представляют собой набор концепций ведения боевых действий и связанных с ними военных возможностей, которые позволяют бойцам в полной мере использовать всю имеющуюся информацию и гибко, и быстро использовать все доступные ресурсы. В основе СБД лежат следующие положения:

качество обмена информации улучшается при использовании войсками надёжной сети,

обмен информацией повышает качество информации и уровень распределённой ситуационной осведомлённости,

распределённая ситуационная осведомлённость делает возможным совместную работу и самосинхронизацию и повышает устойчивость и скорость принятия решений, что, в свою очередь, значительно повышает эффективность миссии.

Сетевоцентрические операции (СО) – концепция ведения операций, которая увеличивает боевую мощь, благодаря использованию сетевых сенсоров, систем поддержки принятия решений. Также концепция позволяет боевым единицам достичь распределённой ситуационной осведомлённости, увеличения скорости принятия решений, более высокого темпа операций, большей летальности, повышенной живучести и более высокого уровня самосинхронизации. СО являются воплощением основополагающих принципов сетевоцентрических боевых действий, применимых в области национальной безопасности.

Ключевые разработки NCOIC являются открытыми продуктами, предназначенными для использования любой заинтересованной стороной вне зависимости от страны и происхождения, конечной цели использования системы или участия в NCOIC. По завершению работ каждый продукт NCOIC будет доступен бесплатно. Продукты NCOIC:

Analyses – Исследования – серия проводимых в настоящий момент исследований правительственные организаций, возможных потребностей, подмандатных открытых стандартов с целью определения общностей, успешных совместных проектов, конфликтных ситуаций, пробелов и потенциальных областей для улучшения.

Systems, Capabilities, Operations, Programs&Enterprises (SCOPE™) Model – модель систем, возможностей, операций, программ и предприятий – характеристика коммерческих, гражданских и правительственные потребностей в интероперабельных системах.

NCOIC Interoperability Framework (NIF™) [12] – фреймворк обеспечения интероперабельности NCOIC – рекомендации для открытых стандартов и их шаблонов с целью построения интероперабельных систем.

Building Blocks – строительные компоненты – каталог COTS и GOTS (т.е. предназначенных для использования в коммерческом и государственном секторах) продуктов, основанных для открытых стандартов и совместимых с рекомендациями NIF.

Network Centric Analysis Tool (NCAT™) – инструмент анализа сетевоцентричности – предназначен для исследования системных архитектур, включая архитектуры системы систем и объединя-

нения систем. Основывается на второй части документа NESI [9] (Net-Centric Enterprise Solutions for Interoperability), разрабатываемого министерством обороны США. Программно этот инструмент представляет собой веб-приложение, написанное с использованием открытых технологий Java, Apache Derby, Apache Jboss. Практически является многофункциональным опросником для инженеров, создающих системы, нацеленные на функционирование в интероперабельной среде.

NCOIC Lexicon [11] – лексикон NCOIC – глоссарий терминов и определений, лежащих в

основе обсуждений. Предоставляет общий язык для обсуждения идей.

Systems Engineering best practices and processes – устоявшиеся практики и процессы разработки систем – включают в себя инструменты, процессы и зрелые модели, способы моделирования и окружения для совместной работы по интеграции NCOIC.

На рис. 1 приведена хронология развития сетевоцентрических технологий, на рис. 2 – иерархия понятий из сферы сетевоцентрических технологий, рассмотренных в контексте исторического развития этой области.

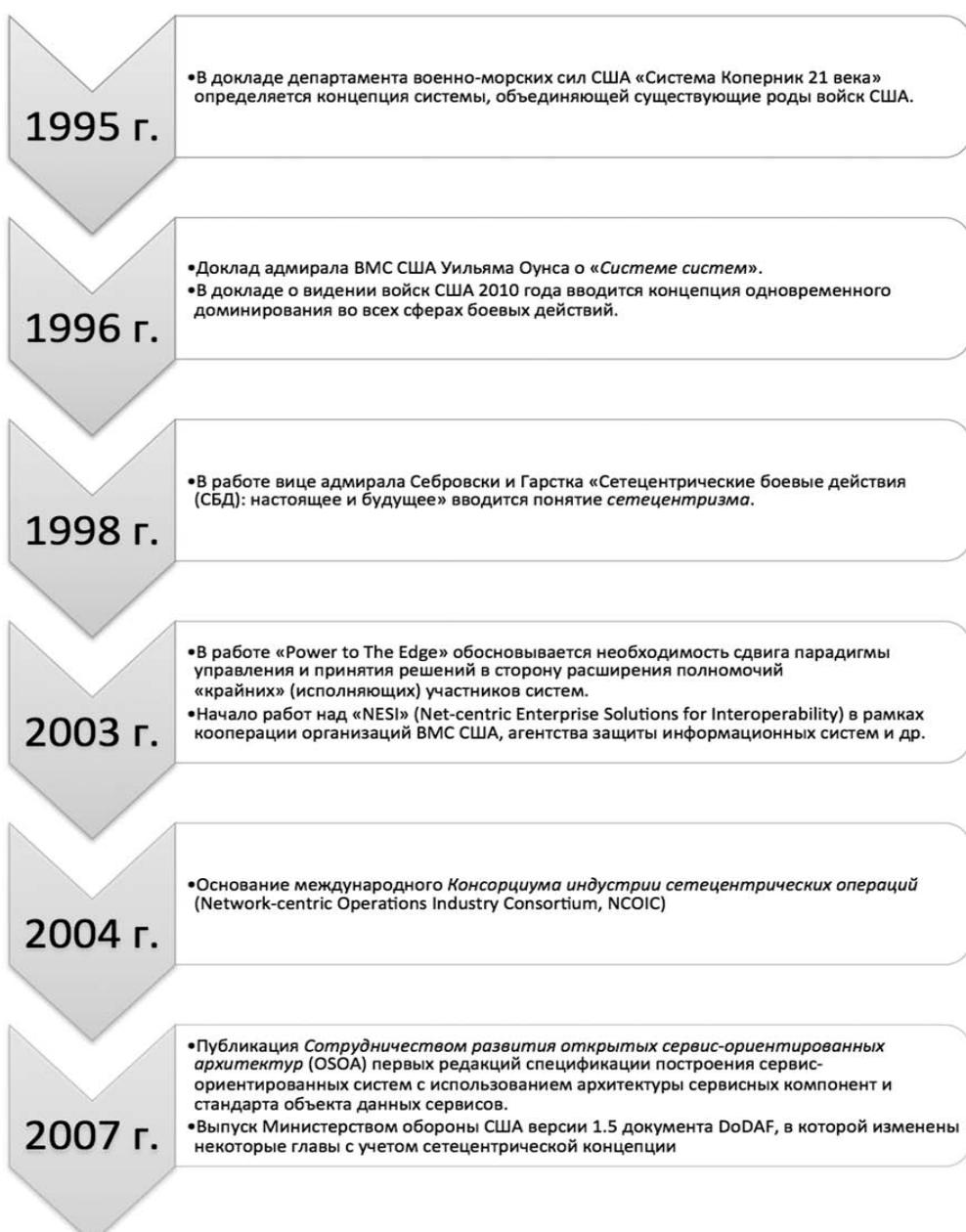


Рис. 1. Хронология сетевоцентризма

Текущее состояние области сетецентрических технологий. В настоящее время многие развитые страны приняли на вооружение концепцию сетецентрических боевых действий:

Австралия – «Сетецентрические боевые действия» (Network Centric Warfare);

Швеция – «Оборона, основанная на сети» (Network Based Defense);

Великобритания – «Реализация возможности проведения операций в сетевой среде» (Network-Enabled Capability);

Франция – «Информационно-центрическая война» (Guerre Infocentre);

Китай – «Интегрированная сетевая и электронная война» (Integrated Network-Electronic Warfare – INEW) и другие.

Основные технологические тенденции 2010 и 2011 гг., озвученные на конференции IBM «Практика и перспективы внедрения разумных инноваций», также показывают актуальность сетецентрических технологий. В одном из пленарных докладов [13] этой конференции были указаны ключевые тренды 2011 г., в числе которых тренды, реализующие возможность использования сервис-ориентированной архитектуры (облачные вычисления, коммутируемая инфраструктура и программное обеспечение, учитывающее контекст) и тренды, позволяющие внедрять обращение к нелокальным человеческим ресурсам (социальные работы и социальные сети, приложения для мобильных устройств и планшетных ПК).

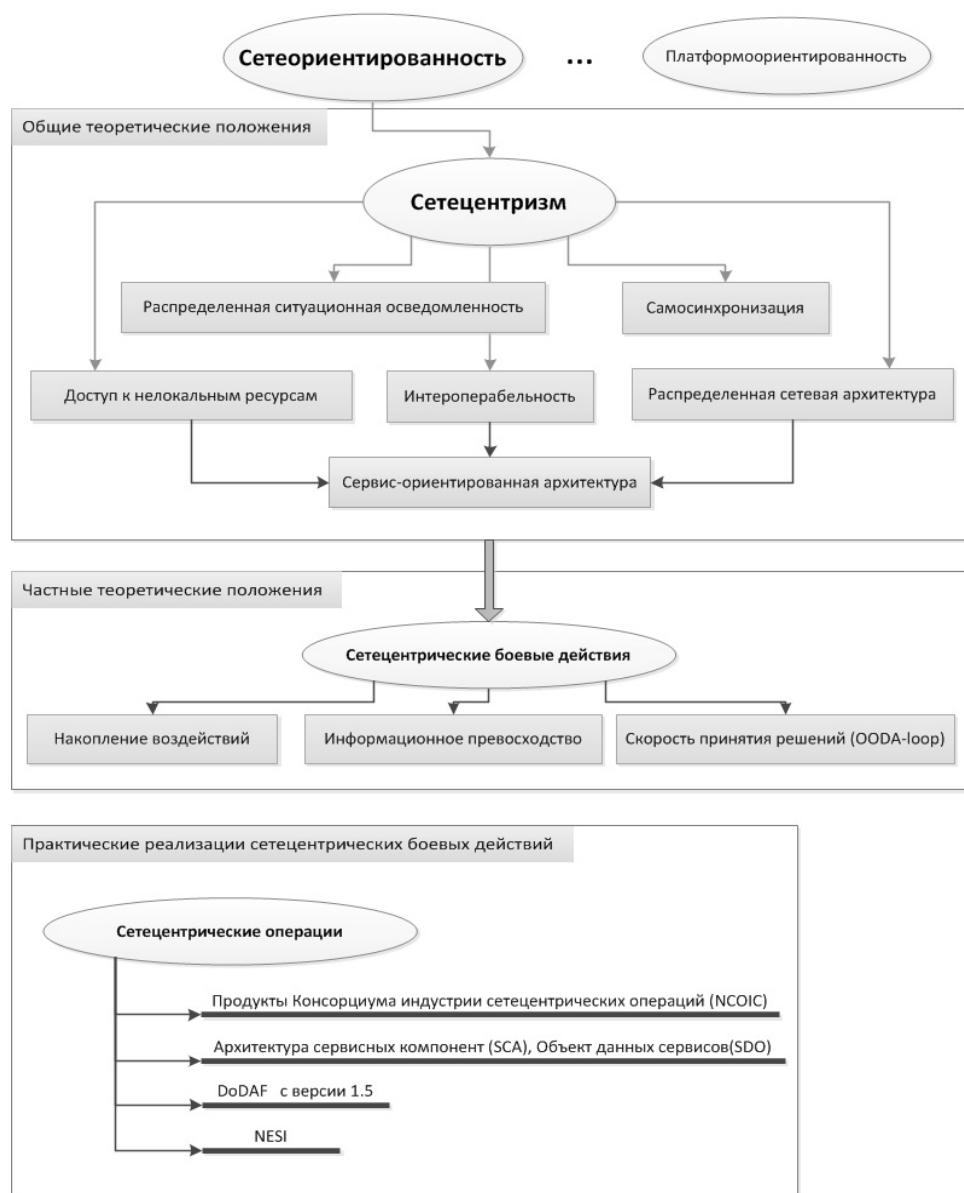


Рис. 2. Иерархия понятий сетецентризма в историческом контексте

При построении систем электронного правительства также необходимо учитывать принципы и стандарты сетевентризма. В настоящее время в России постепенно реализуется план внедрения информационных технологий в деятельность государственных организаций, однако, ввиду отсутствия технологического «ориентира», стандартов и спецификаций, каждый проект в этой сфере получается автономным. Автономность сводит эффективность таких систем к крайне низкому уровню.

Например, при автоматизации муниципалитета района, как правило, автоматизируют внутренние процессы и создают сайт, на котором можно найти информацию по постановлениям, мероприятиям и т. д. Однако сам муниципалитет тем не менее остаётся автономным, т.к. не были разработаны программные интерфейсы доступа к данным муниципалитета. Практика открытия данных государственных организаций распространена по всему миру [14] и позволяет повторно использовать информацию, что повышает её ценность и укрепляет доверие граждан к своему государству. Поэтому необходимо по крайней мере придерживаться мировых стандартов при создании таких систем, используя сервис-ориентированную архитектуру, SCA, SDO и другие открытые технологии.

Дальнейшие исследования. Многие информационные системы получат новое качество в результате адаптации сетевентрической концепции. Необходимо исследовать возможности и результаты применения. Например:

системы немедленного реагирования на природные бедствия. За счёт интеграции со смежными системами полиции, армии и других государственных структур значительно повысится скорость мобилизации населения и уровень сплочённости действий с целью минимизации ущерба от бедствия [15];

системы логистики цепочек поставок. За счёт прозрачности информационных средств каждого звена,участвующего в организации поставок, можно значительно оптимизировать время доставки грузов;

корпоративные информационные системы;
системы электронного правительства;
информационные системы армии.

Необходимость модернизации армии за счёт использования сетевентрического подхода неоднократно высказывалась во многих отечественных работах [7, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

В области автоматизированных систем массового обслуживания этот подход заслуживает отдельных исследований. Ряд таких работ уже был проведён за рубежом. Например, в работе «Network-Centric Warfare – Its Nature and Modelling»

[6] авторы используют теорию массового обслуживания для решения задачи оптимизации числа истребителей-перехватчиков, патрулирующих морские границы, а также оптимизации их поведения. Сравниваются платформоцентрический подход, когда каждый перехватчик зафиксирован на своём собственном секторе ответственности и отвечает только за судна, входящие в его сектор, и сетевентрический подход, когда перехватчики позиционируются адаптивно к характеру прибытия судов контрабандистов. В ещё одной работе, изданной министерством обороны Австралии [22], рассматриваются системы массового обслуживания с отказами на примерах электронных сервисов.

Заключение. Дальнейшее исследование и применение принципов сетевентризма будет полезно для любой области, использующей информационные технологии. Если можно было бы охарактеризовать сетевентризм одним словом, то это слово было бы «команда». До сих пор прикладные системные архитекторы концентрируют своё внимание на доступности своего приложения большому числу конечных пользователей. Сфера распределённых систем, работающих под большими нагрузками, приобретает всю большую популярность. В России, например, ежегодно проходит конференция под названием HighLoad. Многие БД проектируются, исходя из предположения, что конечная система будет иметь распределённую архитектуру. Однако обращается внимание вопрос совместной продуктивной работы этих систем. Каждая популярная система предоставляет различные инструменты для разработчиков, API, которые позволяют получить доступ к данным, хранящимся в системе. Но такие API различны для различных систем, они накладывают разные ограничения и дают разные возможности.

Современное информационное пространство любой организации состоит из набора различных ИС различных производителей. Критически важным моментом является сопряжение этих систем, предоставление доступа к их сервисам из единой точки. Конечный пользователь не обязан знать, например, что для доступа к базе данных документов компании и базе данных сотрудников необходимы различные имена пользователя и пароли или что невозможно использовать в своей системе бухгалтерии информацию, полученную из филиала в силу того, что там используется другая система ведения учёта.

Всех этих ограничений можно было бы избежать, если бы в каждом случае разработчики придерживались единой концепции построения систем и представления выходных данных. Например, задачи обеспечения безопасности таких систем ус-

пешно решаются стандартными способами с помощью управляемой модели [23].

Необходимо переводить международные документы по сетевентризму и рассказывать о них российским разработчикам и предпринимателям. Такой путь развития даст возможность российским информационным системам интегрироваться и адаптироваться к мировому информационному обществу. Этот вопрос касается интероперабельности.

Библиографические ссылки

1. **OASIS** Reference Model for Service Oriented Architecture V 1.0 // OASIS. URL: <http://soa.skatin.ru/soa-rm-csru.pdf> (дата обращения 20.05.2011). 10 с.
2. **Copernicus...** Forward C4I for the 21st Century // Information Assurance Technology Analysis Center (IATAC). URL: http://iac.dtic.mil/iatac/download/Vol14_No1.pdf (дата обращения 15.04.2011).
3. **Owens W.A.** The Emerging Systems of Systems // National Defense University Institute for National Strategic Studies. 1996. URL: [http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2\[doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA394313](http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2[doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA394313) (дата обращения 21.05.2011).
4. **Cebrowski A.K., Garstka J.J.** Network-Centric Warfare: Its Origin and Future // U.S. Naval Institute Proceedings Magazine, January 1998, Volume 124/1/1, 139. URL: <http://www.usni.org/magazines/proceedings/> 1998-01.
5. **Alberts D.S., Wells L.** Power to The Edge // CCRP, 2005. URL: http://www.dodccrp.org/files/Alberts_Power.pdf. (дата обращения 10.02.2011).
6. **Fewell M.P., Hazen M.G.** Network-Centric Warfare – Its Nature and Modelling // Australian Goverment Department of Defence, Defence Science and Technology Organization – Maritime Operations Division Systems Sciences Laboratory, 2004. URL: <http://www.dsto.defence.gov.au/publications/2596/DSTO-RR-0262.pdf>.
7. **Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю.** Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. Тверь: ООО «КУПОЛ».
8. **Eriksen J.H.** NATO glossary of terms and definitions // The North Atlantic Treaty Organization NATO standardization agency, 2010. URL: <http://www.nato.int/docu/stanag/aap006/aap-6-2010.pdf>. 2-F-8 с.
9. **Net-Centric** Enterprise Solutions for Interoperability // Air Force (ESC and SMC), Navy (PEO C4I), and Defense Information Systems Agency (DISA). 2010. URL: <http://nesipublic.spawar.navy.mil/banner>.
10. **Department** of Defense Architecture Framework // US DOD. URL: <http://cio-nii.defense.gov/sites/dodaf20/index.html> (дата обращения 20.03.2011).
11. **NCOIC Lexicon** // NCOIC. 2008. URL: <http://wiki.ncoic.net/index.php/LexiconV2.0>.
12. **Osvalds G., Bowler M., Jones A.** NCOIC Interoperability Framework // NCOIC, 2010. URL: <https://www.ncoic.org/technology/activities/education/nif/> (дата обращения 26.03.2011).
13. **Горина Н.** 10 ключевых технологических трендов 2011 // Gartner, 2011. URL: <http://www.ibm.com/ru/events/swconf2011/pdf/P-2.pdf> (дата обращения 18.05.2011).
14. **Бегтин И.** Информационное общество и повторное использование информации // Хабрахабр 2011. URL: http://habrahabr.ru/blogs/e_gov/117344/ (дата обращения 13.05.2011).
15. **Polzer H.W.** The Essence of Net-Centricity and Implications for C4I Services Interoperability // George Mason University. 2008.
16. **Попов И.М.** «Сетевентрическая война»: готовы ли к ней Россия? URL: <http://www.milresource.ru/NCW.html> (дата обращения 12.05.2011).
17. **Прокушка Д.В., Больных А.А.** Анализ подходов решения задач управления ит-инфраструктурой и ресурсами многоуровневых информационных систем при построении сетевентрической системы управления. 2009. URL: <http://www.ict.edu.ru/vconf/files/9939.pdf> (дата обращения 04.03.2011).
18. **Кондратьев А.Е.** Борьба за информацию на основе информации [Электронный ресурс] // Pentagonus. 2009. URL: <http://pentagonus.ru/publ/80-1-0-788> (дата обращения 04.02.2011).
19. **Кондратьев А.Е.** Общая характеристика сетевых архитектур, применяемых при реализации перспективных сетевентрических концепций ведущих зарубежных стран // Военная мысль, Редакционно-издательский центр Министерство обороны РФ. 2008. № 12. С. 63–74.
20. **Балуев Д.** Политика в войне постиндустриальной эпохи // Международные процессы. 2005. Т. 3. № 3. С. 18–32.
21. **Хамзатов М.М.** Влияние концепции сетевентрической войны на характер современных операций // Военная мысль, Редакционно-издательский центр Министерство обороны РФ. 2006. № 7.
22. **Bocquet C.** Queueing Theory with Reneging // Australian Government Department of Defence, Defence Science and Technology Organization – Maritime Operations Division Systems Sciences Laboratory, 2005.
23. **Ulrich L.** Model-driven cloud security // IBM developer works. 2011. URL: <http://public.dhe.ibm.com/software/dw/cloud/library/cl-modeldrivencloudsecurity-pdf.pdf> (дата обращения 10.05.2011).

УДК 658

Т.Ю. Цибизова, канд. фил. наук, доц., **К.А. Неусыпин**, д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ УЧЕБНО-НАУЧНЫМИ ЦЕНТРАМИ

Рассмотрена система управления образовательными организациями и гибридная структура системы управления современными учебно-научными центрами. Предложена решётчатая организационная структура на всех иерархических уровнях системы управления учебным комплексом.

Ключевые слова: образовательная организация, гибридная структура, управление учебным комплексом.

The educational organizations control system and the control system hybrid structure of modern educational-scientific centers are considered. The lattice organizational structure at all control system hierarchical levels of the educational complex is proposed.

Key words: educational organization, hybrid structure, educational complex management.

Введение. Развитие системы образования неразрывно связано с важнейшим направлением государственной политики в области развития науки и технологий – созданием национальной инновационной системы [1–4]. При формировании национальной инновационной системы образовательные организации играют ведущую роль, так как являются интеграторами ресурсов, технологий и знаний. Реализовать поставленные задачи возможно с помощью образовательных организаций нового типа (университетских комплексов или учебно-научных центров). Для эффективного функционирования учебно-научных центров целесообразно создать новую систему управления, основанную на проверенных временем механизмах управления высшей школы СССР и учитывающую новые реалии рыночной экономики. Такая система управления должна основываться на отечественном многолетнем практическом опыте, анализе зарубежных образовательных технологий и современных теоретических разработках.

Организация, функционирующая в сфере предоставления образовательных услуг, представляет собой учебное учреждение различного иерархического уровня, а также учреждения, координирующие работу образовательных организаций, и, наконец, систему образования страны в целом. Образовательные организации по классификации Минцберга относятся к профессиональным бюрократиям [1]. Классические профессиональные бюрократии обеспечивают координацию деятельности высококвалифицированных специалистов и характеризуются слаборазвитой средней линией, невысокой степенью бюрократизации, а также

большой долей вспомогательного персонала. Перечисленные особенности определяют специфические черты, которые характерны для систем управления, включая структуру и методы управления. Области применения образовательных организаций, их консерватизм определяют вид систем управления. На современном этапе развития общества явно проявляется тенденция к активному поиску новой парадигмы, которая способна трансформировать существующую систему образования в саморазвивающуюся и самоорганизующуюся индустрию страны. Однако следует отметить, что трансформация или синтез новой системы управления образовательной организации осуществляются в условиях жёстких ограничений. Комплекс ограничений обусловлен не только новыми стандартами на специальности, многоступенчатой формой обучения и другими специфическими особенностями реформы, реализуемой в рамках Болонского соглашения [3], но и отсутствием серьезной законодательной поддержки инновационного развития высшей школы, в том числе в сфере малого и среднего бизнеса.

Системы управления образовательными организациями. Современные системы управления образовательными организациями целесообразно проектировать с учётом требований универсальности, адаптивности и инвариантности к различным педагогическим концепциям. Обязательным требованием, предъявляемым к современным и перспективным системам управления образовательными организациями, является способность к самоорганизации. Другая особенность, которую необходимо учитывать при синтезе системы управления учебными организациями, – это их

способность максимально полно учитывать априорную и апостериорную информацию о состоянии организации и среде её функционирования.

Организационная структура системы управления современными образовательными организациями должна оптимизировать производственные и технологические процессы, повышать эффективность функционирования предприятия и конкурентоспособность организации, что особенно важно в условиях переходного периода к построению эффективной национальной инновационной системы. Применение современных информационных технологий управления организациями позволяет максимально унифицировать и автоматизировать процесс управления организацией, а также способствует реализации инновационного принципа [1,4].

В рамках теории организаций и теории управления современная система управления организацией рассматривается как информационная [4]. Это связано с тем, что на современном этапе развития теории и практики управления организацией всё большее применение находят новые информационные технологии.

При управлении современной образовательной организацией необходимо контролировать текущую ситуацию и предвидеть изменение ситуации в будущем. Кроме интуитивных оценок, в последнее время используется обоснованное оценивание состояний организации на основе проведенных измерений, позволяющих строить интегрированную модель функционирования организации, включающую уравнения состояния организации и модели изменения внешней среды. Затем интегрированная модель применяется в системе управления организацией [2].

В результате построения модели состояния и внешней среды функционирования организации возможно разрабатывать сценарии управления организацией на длительное время.

Первые системы управления организациями появились в 1953 г. и предусматривали применение операционной модели, построение которой проводилось на основе исследования процесса выполнения каждой операции при функционировании организаций. Внешняя среда организации меняется, поэтому операционную модель необходимо постоянно корректировать.

Следующий этап в эволюции модельных подходов при разработке систем управления организациями ознаменован применением моделей «текущей хозяйственной деятельности» [2]. Такие модели позволяют учитывать взаимосвязь отдельных производственных процессов и проследить последствия предполагаемых управленческих решений, а также оценить их влияние на конечные цели организации [3]. При функционировании организации необходимо постоянно проверять

адекватность используемых моделей и корректировать их, что в практических приложениях представляет определённые сложности.

В условиях бурного развития информационных технологий синтез современных систем управления организациями должен предусматривать их использование. Система управления образовательной организацией претерпевает существенные структурные изменения, обусловленные глубоким внедрением новых информационных технологий в учебный процесс и процесс управления организациями. К таким технологиям относятся дистанционное обучение, TV-технологии и др.

В современных системах управления образовательными организациями следует увеличивать долю информационных технологий, позволяющих оптимизировать процесс управления, уменьшать ошибки при принятии решений и их реализации, сокращать управленческий аппарат.

Современные системы управления образовательными организациями используют различные базы данных, базы знаний, системы поддержки принятия решений, программные средства обеспечения технологий и др. Такие информационные системы оптимизируют процесс принятия решений и обработки больших объёмов информации, а также способствуют эффективной выработке управленческих решений. Примером систем этого класса является информационная система «электронный деканат», успешно используемая во многих вузах (МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГОУ, МИЭМ, РУДН и др.).

Организации с гибридной структурой. Системы управления организациями функционируют в соответствии с разными методами управления. На современном этапе развития наиболее эффективными являются адаптивные методы управления организациями, предполагающие изменение организационной структуры.

Обычно в системах управления организациями выделяют три управленческих уровня – высший, средний и низовой [1].

Средний уровень управления определяет гибкость организационной структуры и является самой динамичной и активной частью социальной организации. Высший и низовой уровни по сравнению со средним отличаются большой структурной консервативностью [2]. Такая ситуация наблюдается в основном в условиях относительно стабильной внешней среды функционирования образовательной организации. В противном случае при нестабильности среды наиболее эффективными являются гибридные структуры [2], характеризующиеся гибкостью, которая определяется активностью низового уровня социальной организации. В условиях стохастической неопределенности, когда маркетинговые исследования не позволяют получить достоверную апостериор-

ную информацию, реализовать инновационный принцип в социальной организации не представляется возможным. Маркетинговые прогнозы в этих условиях часто недостоверны или отсутствует возможность сделать прогноз, что обусловлено факторами «старения» измерений, сенсорной де-привацией и др. В этих условиях при синтезе или обновлении образовательной организации целесообразно использовать гибридную структуру, так как в её основе лежат эволюционные механизмы. Гибридная структура организации подразумевает, что для реализации многообразных видов деятельности создаются разнообразные отдельные организационные образования. Юридические формы функционирования этих организационных образований могут быть разнообразными (например, секторы, отделы государственного или коммерческого предприятия, входящие в состав холдинга, и др.).

Одним из вариантов существования подобных организационных образований в образовательных организациях может быть инициативная группа, сформированная по аналогии с распространёнными в Японии кружками качества [1]. В образовательных организациях целесообразно реализовать низовые структуры в виде подобных инициативных групп в рамках существующих структурных подразделений, таких как студенческое конструкторское бюро, научно-методический сектор и др.

Специфической особенностью исследуемой структуры является то, что работы финансируются образовательной организацией. Поэтому право принятия решения о признании эффективным того или иного организационного образования принадлежит самой организации.

Системогенез образовательной организации с гибридной структурой (элементами гибридной структуры) обычно включает три основные фазы или три этапа функционирования.

Первый этап работы образовательной организации с элементами гибридной структуры заключается в формировании организационных образований по видам деятельности, их функционировании и определении самых эффективных образований. Эффективность таких образований определяется в соответствии с функционалом качества, который включает параметры, характеризующие полученный результат и прогнозные значения компонент вектора состояния, описывающие конечный результат деятельности организационного образования и организации в целом. Таким образом, осуществляется селекция видов деятельности в образовательной организации, подтверждённая эмпирически.

Второй этап работы исследуемой организации заключается в укреплении отобранных организационных образований, их адекватном финанси-

ровании и отработке технологий оказания большого объёма услуг. Финансирование осуществляется в соответствии с полученным и прогнозируемым положительным результатом деятельности и определяется по максимальным значениям функционала качества. Второй этап завершается сравнительным анализом достигнутых результатов каждого организационного образования и выбором наиболее эффективного. Селекция организационных образований на втором этапе системогенеза образовательных организаций отличается достаточно низким коэффициентом селекционного дифференциала. Эта особенность связана с целесообразностью использования слабой жёсткости отбора, так как на современном этапе функционирования образовательных организаций большое влияние на живучесть организационных образований в гибридной структуре оказывает естественный отбор.

На третьем этапе происходит создание благоприятных условий для получения оставшимся укрупнённым организационным образованиям максимального положительного эффекта (в смысле выбранного функционала качества). Укрупнённые организационные образования были получены в результате селекции на двух предыдущих этапах системогенеза.

В современных условиях особенностью реализации гибридного подхода в образовательных организациях является длительность прохождения второй и особенно третьей фазы системогенеза. Иными словами, реализация фазы перехода организационного образования на хозрасчёт предполагается на большом интервале времени либо вообще может не осуществиться. Таким образом, в образовательных организациях реализуется редуцированная гибридная структура, формирование которой объясняется высокой степенью корреляции видов деятельности, развиваемых в рамках гибридной компоненты и основной деятельности образовательной организации. Введение хозрасчёта вместе с положительным эффектом имеет и негативные аспекты, в частности увеличение накладных расходов, связанных с его практической реализацией. В условиях жёсткой конкуренции на рынке образовательных и сопутствующих услуг, а также производства, связанного с образовательной деятельностью, целесообразно развивать новые виды деятельности в рамках основной структуры образовательной организации. Гибридный подход при построении образовательной организации реализуется на основе эволюционного метода самоорганизации. Гибридные структуры и особенно редуцированные гибридные структуры всё больше применяются в сфере образования. При использовании более полной взаимосвязи и взаимоусиления различных видов деятельности в рамках образовательной организации легче добиться эффекта

синергизма, что позволяет повысить конкурентоспособность организационного образования и организации в целом.

В рамках единой структуры образовательной организации легче добиться взаимоусиления видов деятельности, так как возможно координировать работы всех составляющих организации. Взаимоусиление видов деятельности повышает эффективность работы образовательных организаций и степень их живучести в современных условиях функционирования.

Таким образом, гибридный подход в структуре образовательной организации позволяет снизить степень риска принятия ошибочных маркетинговых решений при реализации инновационной политики организации за счёт поэтапной селекции результатов при реализации разнообразных видов деятельности. Правильность направлений инвестиций подтверждается практическим результатом.

Эффективность гибридной структуры и составляющих её организационных образований контролируется на каждом этапе системогенеза. Результаты контроля являются основой для формирования управляющих воздействий и позволяют корректировать стратегию развития организации на ранних стадиях. В процессе функционирования организации такой способ управления позволяет минимизировать ущерб, обусловленный неточными маркетинговыми решениями, изменениями внешней и внутренней среды организации.

При функционировании образовательных организаций в реально существующем законодательном поле целесообразно использовать другие методы повышения её эффективности.

Рекомендации по совершенствованию современной структуры системы управления образовательной организации. Становление рыночной экономики в РФ происходит в условиях постоянных перемен, высокой степени неопределенности и риска и требует от руководителей глубоких знаний в различных областях управления, умения работать с применением новых информационных технологий.

В процессе стабилизации законодательной базы и утверждения цивилизованных норм в экономике овладение современными средствами управления будет приобретать всё большую актуальность. Российская экономика требует оптимизации решения таких задач, как снижение издержек производства, повышение конкурентоспособности продукции, обновление основных фондов, технологическое перевооружение и др. На современном этапе сложилась ситуация, при которой только отдельные управляемые коллективы готовы к эффективному решению перечисленных задач.

На построение организационной структуры управления влияют такие факторы [1]: внешняя

рыночная среда, специализация управляемого труда, соотношение централизации и децентрализации.

Каждому временному этапу развития рыночной экономики присущ главный фактор построения организационной структуры. Это определялось прежде всего требованиями окружающей среды и достижением успеха производственной деятельности. И, соответственно, на каждом временном этапе появлялись новые организационные формы, наиболее полно отвечающие на воздействие вновь возникающих факторов. Поэтому те предприятия, которые перестраивались быстрее других, имели наибольший успех и шансы на выживание. Появление каждого нового типа структуры не означало исчезновения и отмену всех структур, существующих ранее. Скорее, новый тип структуры дополнял существующее многообразие организационных форм построения предприятий. Причём одно и то же предприятие часто строится на основе сочетания нескольких типов структур. Требование специализации управляемого труда наряду с ростом масштабов производства диктует необходимость функционализации подразделений в зависимости от основных видов управляемой деятельности.

Ещё одним общим фактором, влияющим на построение структуры, является целесообразный уровень централизации или децентрализации управления в зависимости от типа и характера производства. Однозначно невозможно сказать, что лучше – централизация или децентрализация. Их соотношение определяется индивидуально для каждого предприятия. Кроме объективных факторов, на введение принципов децентрализации влияет стиль руководства и др.

Обычно в крупных образовательных организациях используется простая иерархическая структура системы управления [2, 3]. Возможно применение других иерархических систем управления, например даймонд-структуры [3].

При возрастании сложности структур, функций и целей предприятия структура управляющейся системы приобретает вид неуклонно разрастающейся иерархической пирамиды.

Такой тип отношений увеличивает разрыв между принятием решения и его реализацией. Эта форма связей, обеспечивая ключевые интересы предприятия или вышестоящих подразделений, в то же время может подавлять самостоятельность и инициативу работников.

В настоящее время реализуется концепция создания учебно-научных комплексов на базе ведущих вузов РФ, которые объединяют учебные заведения различного уровня профессиональной подготовки [4]. Сохранение классической вузовской системы управления в учебно-научном комплексе приведёт либо к увеличению количества

иерархических уровней, либо к снижению управляемости подразделений и составных частей комплекса. Недостатки тенденции увеличения количества иерархических уровней системы управления организацией обсуждались выше. Следует отметить, что современные системы управления организациями эффективно функционируют при реализации максимум семи иерархических функциональных уровней. Увеличение количества уровней снижает качество работы системы управления, что обусловлено несовершенством существующих современных методов управления организациями.

В связи со сложившейся ситуацией для управления крупными учебно-научными комплексами целесообразно использовать модифицированную систему управления, основанную на классических подходах теории организаций.

Известно, что наиболее эффективно функционирующей является организация, имеющая решётчатую структуру [2], особенность которой – максимальное развитие горизонтальных связей при минимальном развитии вертикальных. Эффективность горизонтальных связей существенно выше, чем вертикальных. Поэтому при реализации системы управления учебно-научным центром целесообразно сократить количество иерархических управленческих уровней. Для того чтобы сокращение вертикали власти не привело к снижению управляемости организацией, в частности учебно-научным центром, используется усиление горизонтальных связей на всех оставшихся иерархических уровнях системы управления. В модифицированной системе управления учебно-научными центрами предусмотрено усиление постоянного делегирования полномочий и ответственности во всех областях управленческой деятельности и на всех иерархических уровнях. При делегировании полномочий подчинённым на вышестоящих иерархических уровнях реализуется функция координации. Руководители низовых структур получают больше самостоятельности и реализуют функцию тактического управления. Стратегическое управление является в ос-

новном функцией высшего управленческого звена. Такая модификация классической вузовской системы управления учебно-научным центром позволит избежать увеличения управленческого аппарата, которое происходит при укрупнении организационных структур, а также повысить эффективность процесса управления за счёт увеличения гибкости и сензитивности.

Заключение. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта управления образовательными организациями, а также современных достижений теории организации были выработаны следующие рекомендации:

при управлении учебно-научными центрами целесообразно использовать гибридные организационные структуры, особенностью которых является высокая эффективность и минимизация риска неправильных маркетинговых решений. Однако использование гибридных структур в вузах в настоящее время существенно ограничено из-за несовершенства законодательной базы;

предложена модификация структуры системы управления учебно-научным комплексом, предусматривающая сокращение вертикали власти и усиление горизонтальных связей, что повышает эффективность процесса управления. Использование делегирования полномочий и увеличение самостоятельности иерархических организационных образований нижних уровней позволят в большей степени учитывать особенности рыночной экономики и сократить численность управленческого аппарата учебно-научного комплекса.

Библиографические ссылки

1. Управление по результатам. Под общ. ред. Я.А. Лейманна. М.: Прогресс. 1993. 272 с.
2. Гончаров В.В. Руководство для высшего управленческого персонала. М.: МНИИПУ. 1996. 650 с.
3. Бородулин И.Н., Неусыпин К.А. Вопросы синтеза систем управления качеством образовательных организаций // Качество, инновации, образование. 2004. № 3. С. 21–27.
4. Мильнер З. Теория организации: учеб. для вузов. М.: ИНФРА-М. 2003. 385 с.

Вниманию авторов!

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

УДК 550.808

Н.А. Абдуллаев, канд. техн. наук (Научно-исследовательский институт оборонной промышленности, г. Баку, Республика Азербайджан)

nabdulavev2011@rambler.ru

О КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ НАЗЕМНЫХ И ЛЕТАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Рассмотрены вопросы температурной компенсации акустических систем локации. Проанализированы вопросы реализации коррекции при использовании моделей плоских и сферических акустических волн. Получены аналитические выражения для осуществления температурной коррекции.

Ключевые слова: температурная коррекция, локация, акустика, погрешность.

The temperature compensation questions of the acoustic location systems are considered. The correction realization questions for models utilization of the plane and spherical acoustic waves are analyzed. The analytical expressions for temperature correction realization are derived.

Key words: temperature correction, location, acoustics, error.

Средства акустической локации предназначены для сбора и обработки генерированных или отражённых звуковых волн, волн давлений или вибраций в таких средах, как атмосфера, вода или земля.

Акустическая локация имеет сравнительно давнюю историю. Известно, что, например, немецкая подводная лодка UC-3 была потоплена 23 апреля 1916 г. с помощью информации, выданной гидрофонной разведывательной станцией.

Акустические системы артиллерийской разведки значительно изменились со времён Первой мировой войны. В настоящее время акустические системы разведки являются частью комбинированной системы, в которой акустическая система поддерживает функционирование радаров или электрооптических систем, которые, имея узкий угол обзора, обладают более высокой точностью, чем акустические системы.

Например, наиболее современной акустической системой локации, имеющейся в армии США, является система UTAMS, которая, будучи автоматической, позволяет обнаружить залпы миномётов и ракет. Система UTAMS имеет от трёх до пяти рядов акустических датчиков, в каждом из которых содержатся четыре микрофона, процессор, средства радиосвязи, компьютер. Система UTAMS работает в паре совместно с контраптиллерийским радаром AN/TPQ-36 и позволяет регистрировать залпы на расстоянии до 10 км [1].

Очевидно, что повышение точностных характеристик акустических систем локации даёт возможность в целом увеличить эффективность совместного использования акустических систем локации. Широко используемый триангуляционный метод акустической локации [2] ха-

рактеризуется следующими видами погрешности:

погрешность, обусловленная зависимостью скорости звука от таких факторов внешней среды как температура и относительная влажность;

погрешность, вызванная зависимостью степени затухания звуковых волн от температуры, относительной влажности и частоты акустического сигнала;

погрешность вычисления при проведении анализа разности времён приёма акустического сигнала микрофонами.

Для исключения последней из указанных выше составляющих погрешности в работе [3] впервые предложен метод окружностей, в котором в отличие от классического триангуляционного метода расстояние, пройденное звуковой волной, определяется по степени затухания акустического сигнала.

Как отмечено в работе [4], строгий анализ процессов затухания акустических волн в воздухе требует привлечения элементов молекулярной кинетики, процессов вибрационной релаксации, решения уравнения Навье-Стокса. Однако существует более упрощённый технический подход к решению задачи [4]. Согласно этому подходу, используется общий коэффициент затухания, зависящий от таких факторов, как температура, влажность и частота акустического сигнала.

Известно, что для сферической акустической волны амплитуда звукового давления обратно пропорциональна расстоянию x от источника:

$$P(x) = \frac{P_0}{x}, \quad (1)$$

где P_0 – амплитуда звукового давления у источника.

Также известно, что в «дальней зоне» сферические волны вырождаются в плоские. Плоские распространяющиеся акустические волны затухают в соответствии с выражением

$$P(x) = P_0 e^{-\frac{mx}{2}}. \quad (2)$$

С учётом уравнений (1) и (2) имеем

$$P(x) = \frac{P_0}{x} e^{-\frac{mx}{2}}.$$

В общем случае имеют место следующие функциональные зависимости:

$$m = f(F, t^\circ),$$

$$x = vt = \phi(t^\circ)t,$$

где v – скорость звука; $v = \phi(t^\circ)$; t – заданное время.

Таким образом, параметры m и x зависят от температуры, что также обуславливает зависимость $P(x)$ от t° .

Смысль предлагаемого способа температурной компенсации заключается в обеспечении неизменности произведения mx при любом допустимом значении температуры. Обеспечение этого условия позволяет однозначно определить x по измеренной величине $P(x)$. Условие компенсации температурной погрешности для плоской волны

$$P_0 e^{-\frac{mx}{2}} = \text{const}_1. \quad (3)$$

Условие компенсации температурной погрешности для сферической волны

$$\frac{P_0}{x} e^{-\frac{mx}{2}} = \text{const}_2. \quad (4)$$

В работе [5] изложен графический метод компенсации температурной погрешности при акустической локации по методу окружности. Далее предложен аналитический метод осуществления температурной компенсации.

С учётом выражения (3) условие полной температурной компенсации имеет следующий вид:

$$2 \ln \frac{F_0}{F} = mx = \text{const}. \quad (5)$$

Из уравнения (5) имеем

$$m'x + x'm = 0. \quad (6)$$

Заменив в выражении (6) производные на приращения, получаем

$$\frac{\Delta m}{\Delta t^\circ} x + \frac{\Delta x}{\Delta t^\circ} m = 0. \quad (7)$$

Из уравнения (7) окончательно имеем

$$\frac{\Delta m}{\Delta x} = -\frac{m}{x}. \quad (8)$$

Выражение (8) позволяет выработать следующую методику осуществления температурной коррекции.

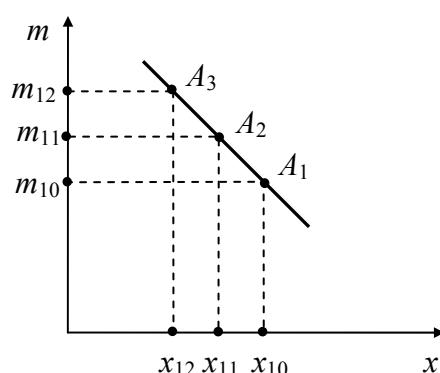
Допустим, в исходном случае множество параметров (m, x) системы акустической локации отображаются рабочей точкой $A_1(x_{10}, m_{10})$ (см. рисунок). Если в результате воздействия температуры параметр x_{10} уменьшился на 25 % и приравнялся x_{11} , то параметр m_{10} в свою очередь, должен увеличиться на 25 % и равняться m_{11} . Таким образом, система акустической локации должна занять термокомпенсированную рабочую точку $A_2(x_{11}, m_{11})$. В таком же порядке можно вычислить позицию рабочей точки $A_3(x_{12}, m_{12})$, которая соответствует 50-процентному изменению величин x_{10} и m_{10} .

Теперь рассмотрим порядок выбора рабочей точки в системе акустической локации для случая рассмотрения сферических волн. Из выражения (4) путём дифференцирования нетрудно получить следующее выражение:

$$\frac{2x'}{x} = -(m'x + x'm).$$

Заменив в этом выражении знаки дифференциала на приращения, окончательно получим

$$\frac{\Delta m}{\Delta x} = -\left(\frac{2}{x^2} + \frac{m}{x}\right).$$



Зависимость параметров m от значений x

Следовательно, при рассмотрении сферических акустических волн в системах акустической локации всякое температурно-связанное приращение Δx должно быть скомпенсировано приращением Δm , вычисляемым по формуле

$$\Delta m = -\Delta x \left(\frac{2}{x^2} + \frac{m}{x} \right). \quad (9)$$

При этом физически для изменения значения параметра m наиболее эффективным методом является выбор и использование той части спектра акустического сигнала, в которой достигается приращение Δm , определяемое выражением (9).

Следует отметить, что указанный выше способ введения температурной компенсации имеет вполне обоснованный физический механизм.

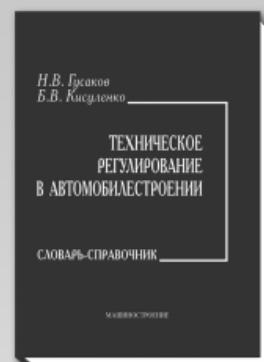
Импульсные акустические источники, такие, как запуск ракет, взрывы, артиллерийские залпы и т. д., имеют относительно широкий спектр распределения акустической энергии с нижней границей до единиц герц [2]. Верхняя граница спектра частот этих сигналов достигает 100 Гц. При этом основная часть энергии акустического сигнала сосредоточена в инфразвуковой области, например, при запуске ракеты типа «Скад» – в пределах 1–25 Гц [2]. Благодаря своему низкочастотному спектру волны от технологических взрывов распространяются на большие расстояния без существенного затухания. Неравномерность распределения спектральной энергии на

рабочем частотном диапазоне даёт возможность реализовать термокомпенсированный режим акустической локации, что улучшает точностные характеристики системы.

В заключение отметим, что предложенный способ термокомпенсации имеет универсальный характер и может быть также использован для систем пространственной акустической локации летательных аппаратов.

Библиографические ссылки

1. **Geophysical MASINT.** http://en.citizendium.org/wiki/Geophysical_MASINT (дата обращения: 4.09.2009).
2. **Sound ranging** http://en.wikipedia.org/wiki/Sound_ranging (дата обращения: 6.05.2009).
3. **Абдулаев Н.А., Абдулов Р.Н.** Метод окружностей для локализации мест технологических взрывов на основе регистрации сферических акустических волн // Электронный журнал «Техническая акустика», 2009, 15. Издание ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова». <http://www.ejta.org> (дата обращения: 6.05.2009).
4. **Bohn D.A.** Environmental effects on the Speed of Sound // Journal of Audio Engineering Society. V. 36, №. 4, 1988.
5. **Абдулаев Н.А., Абдулов Р.Н.** Способ компенсации температурной погрешности акустической локации // Электронный журнал «Техническая акустика», 2009, 16. Издание ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова». <http://www.ejta.org> (дата обращения 4.09.2009).
6. **Stubbs Ch.** Tactical Infrasound. <http://www.fas.org/irp/agency/dod/jason/infrasound.pdf> (дата обращения: 4.09.2009).



ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ: словарь-справочник

Н.В. Гусаков, Б.В. Кисуленко

2008. – 272 с.: ил. ISBN: 978-5-217-03447-5

Цена 440 р.

Словарь-справочник содержит более 2000 терминов, большинство из которых применяется при подготовке и выполнении процедур одобрения типа транспортного средства и подтверждения соответствия компонентов транспортных средств требованиям нормативно-технических документов. В ряде случаев для более глубокого понимания этих терминов приводятся определения общетехнических терминов, лежащих в основе специальной терминологии.

Предназначен для специалистов в области оценки соответствия колесных транспортных средств и их компонентов, а также для студентов и аспирантов, обучающихся по специальностям и направлениям автомобилестроения, автомобильного транспорта и смежных с ними областей.

Словарь-справочник может быть полезен сотрудникам органов контроля и надзора за безопасностью дорожного движения, а также работникам органов таможни, по роду своей профессиональной деятельности связанным с продукцией автомобилестроения.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский 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 004.942

А.С. Моляка, А.Г. Янишевская, д-р техн. наук, проф.
(Омский государственный технический университет)

anna-yanish@mail.ru

ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ДАННЫХ В СЕТЯХ С ФИКСИРОВАННЫМ ЧИСЛОМ КЛИЕНТОВ

Предложены алгоритмы для решения задач размещения данных и страничного размещения в сетях с постоянным числом клиентов (пользователей), каждый из которых имеет ограниченное хранилище и набор запросов на объекты данных. Рассмотрены задачи эффективного использования хранилища каждого пользователя так, чтобы суммарное количество обращений и установочные цены для всех пользователей были минимизированы.

Ключевые слова: компьютерная сеть, алгоритм, математическая модель.

Algorithms for the tasks decision of the data and page placing in networks with fixed number clients (users), each of which has the limited storage capacity and an inquiry set about data entity are offered. Problems of the each user storage effective utilization with a view of minimize the total references quantity and the adjusting prices for all users are considered.

Key words: computer net, algorithm, mathematical model.

Компьютерные сети, построенные на основе архитектуры peer-to-peer (т. е. обмен информацией происходит между машинами пользователей напрямую, без выделенного центрального сервера), в настоящее время являются одним из самых популярных аспектов использования Интернета. Пользователи из многих стран взаимодействуют асинхронно, получая нужную информацию от соседей или из более отдаленных регионов. Успех таких разветвленных систем заключается в эксплуатации новых ресурсов, называемых распределенным хранилищем, отличных от традиционных, связанных с ограничением полосы пропускания. Широкое использование этого нового вида ресурсов связано с тем, что большие объемы хранения данных стали дешевле, а также сократилось время доступа к данным. Пользователи, применяющие технологию peer-to-peer, устанавливают локальное хранилище данных, копируют популярное содержимое (контент) и делают его доступным для других пользователей, таким образом значительно уменьшая требования к пропускной способности канала, необходимой для доступа к данным, расположенным на исходных серверах.

Соответствующей абстрактной моделью, идеально описывающей такую ситуацию, является задача размещения данных, которую можно задать следующим образом: сеть G , содержащая набор S из M пользователей (клиентов), и пространство O из $N = |O|$ объектов. Каждый объект $o \in O$ имеет размер (длину) l_0 , и каждый пользователь $j \in S$ обладает зарезервированной областью памяти C_j для хранилища объектов.

Расстояние между пользователями может быть представлено матрицей расстояний D (не обязательно симметричной), с дистанцией d_{ij} между j и i . Матрица D моделирует базовую топологию. Никаких ограничений (например, метрических) на дистанции не накладывается. Каждый пользователь i запрашивает доступ к набору объектов $R_i \subseteq O$, называемому множеством запросов. Для каждого объекта o из этого запрашиваемого множества клиент i имеет требование доступа $w_{i0} > 0$. Это требование может быть интерпретировано как частота, с которой пользователь i запрашивает объект o . Подмножество $P_i \subseteq R_i$ его множества запросов, которое пользователь i решает копировать на локальный носитель (в собственное хранилище), будем называть размещением. Очевидно, что для объектов, чей размер вычисляется по стандартным единицам, $|P_i| \leq C_i$. Для каждого объекта o и каждого хранилища i задана стоимость размещения f_i^o . Задача состоит в том, чтобы выбранные размещения объектов для каждого клиента, так же как и общая стоимость доступа и стоимость размещения для всех объектов и всех клиентов были минимизированы. В дальнейшем будем полагать без потери общности, что каждый объект $o \in O$ запрашивается по крайней мере одним пользователем.

Определим конфигурацию $c \subseteq S$ как (непустое) подмножество M машин. Таким образом, имеется $(2^M - 1)$ различных конфигураций. Множество всех конфигураций обозначим C . Для конфигурации $c \in C$ и пользователя j примем, что j существует в c , обозначая это $j \in c$, если конфигурация c содержит память машины пользователя j , т. е. машина $m_j \in c$.

Введём следующую форму записи: $p_{cj} = 1$, если $j \in c$, и $p_{cj}=0$, если $j \notin c$. Для объекта o определено c -размещение по отношению к объекту o , как размещение объектов o на машинах, принадлежащих c .

Введя бинарные переменные x_{oc} для определения выбора c -размещения по отношению к объекту o , можно сформулировать данную проблему как задачу линейного программирования (целочисленную линейную программу) следующим образом:

$$\text{минимизировать } \sum_{o \in O} \sum_{c \in C} \text{cost}_{oc} x_{oc}$$

$$\text{при условии, что } \begin{cases} \sum_{o \in O} \sum_{c \in C} l_o p_{cj} x_{oc} \leq C_j & j \in S \\ \sum_{c \in C} x_{oc} = 1 & o \in O, \\ x_{oc} \in \{0,1\} & o \in O, c \in C, \end{cases}$$

где cost_{oc} – полная стоимость, полученная в случае, если конфигурация с использована для объекта o .

В свою очередь,

$$\text{cost}_{oc} = \sum_{j \in S} (1 - p_{cj}) w_{jo} l_o d_j(c) + \sum_{j \in S} p_{cj} f_j^o,$$

где $d_j(c) = \min_{j' : p_{cj'}=1} d_{j'}$ – наименьшее расстояние между клиентом j и объектом o в конфигурации c .

Первый набор ограничений означает, что набор объектов, который копируется каждым пользователем, не должен нарушать ограничения зарезервированной области памяти пользователя. Второй набор ограничений означает, что для каждого объекта должна быть выбрана в точности одна конфигурация. В дальнейшем оптимальное решение целочисленной линейной программы будем обозначать Opt .

Однако описанная выше задача не всегда имеет решение. Для того чтобы избежать тривиальных случаев невыполнимости, примем в дальнейшем, что $\sum_{i \in S} C_i \leq \sum_{o \in O} l_o$, т. е. все клиенты могут коллективно хранить объединение запрошенных объектов. Работы [1, 2] дают обоснование существования удалённого сервера, на котором пользователь держит фиксированное размещение множества объектов, что позволяет успешно бороться с проблемой неразрешимости. Для случая единообразного размера объектов это допущение не влияет на сложность задачи, сложность не отличается от результатов Ваев и др. [3]. Однако в случае объектов разного размера их результаты не всегда верны, так как иногда невозможно найти допустимое решение. Когда есть удалённый сер-

вер, любой случай всегда имеет допустимое решение. Тем не менее их доказательство неаппроксимируемости может быть адаптировано и получено такое утверждение.

Для любой функции $\alpha(N)$, вычисленной за полиномиальное время, задача размещения данных с объектами неодинакового размера и без всяких приращений в ограничении выделенной памяти не может быть аппроксимирована в пределах множителя $\alpha(N)$, если $P \neq NP$, где P – класс сложности задач, для которых существуют «быстрые» алгоритмы решения (время работы которых полиномиально зависит от размера входных данных); NP – (от англ. *non-deterministic polynomial*) класс сложности задач распознавания, решение которых при наличии некоторых дополнительных сведений можно «быстро» (за время, не превосходящее полинома от размера данных) проверить на машине Тьюринга. Если классы не равны, то нельзя построить полиномиальный алгоритм, решающий указанную задачу за приемлемое время.

Её также можно описать как ограниченную задачу поиска кратчайшего пути: для каждой бинарной переменной x_{oc} задана соответствующая ей вершина, также заданы две вершины – s (источник) и t (сток). Они соединены следующим образом: для каждого объекта o_i , $1 \leq i \leq (N-1)$, вершина $x_{o_i c}$ соединена с каждой вершиной, которая представляет $x_{o_{i+1} c}$ для всех конфигураций c . Вершина s соединена с вершинами $x_{o_1 c}$, а вершина t с вершинами $x_{o_N c}$ для всех конфигураций c . Каждому ребру $(x_{o_i c}, x_{o_{i+1} c})$ соответствует вес, равный $\text{cost}_{o_i c}$ для $1 \leq i \leq (N-1)$. Рёбра $(x_{o_N c}, t)$ имеют вес $\text{cost}_{o_N c}$, и рёбра $(s, x_{o_1 c})$ имеют нулевой вес. Задача состоит в отыскании кратчайшего пути между вершинами s и t относительно ограничений размера хранилища на каждую вершину. Эти ограничения получены для каждой вершины $x_{o_i c}$ простым суммированием содержимого (вплоть до объекта o_i) хранилищ каждого клиента в конфигурации c . Эта задача о кратчайшем пути может быть решена методами динамического программирования.

Возникает частный случай, когда число клиентов сети (т. е. пользователей) фиксированно. Такая задача размещения данных может быть разрешена за полиномиальное время, если все объекты имеют одинаковый размер. В случае, если объекты имеют разные размеры, задачу можно решить оптимально, лишь с небольшим и асимптотически строгим нарушением ограничений на размер хранилища данных.

Рассмотрим случай, когда все объекты имеют одинаковый размер.

Определим вектор $r = (r_1, r_2, \dots, r_M)$, где r_j – доступное пространство в хранилище пользователя j , для $1 \leq j \leq M$. Для условия $1 \leq k \leq N$ обозначим

через $f_k(r)$ стоимость, связанную с оптимальным способом размещения объектов o_1, \dots, o_k в памяти машин клиентов, полагая, что r – вектор доступной памяти. Для любой конфигурации c , через $\delta_c = (\delta_c^1, \dots, \delta_c^M)$ обозначен её вектор использования машин, где $\delta_c^i = 1$ в случае, если конфигурация c использует машину m_i , и $\delta_c^i = 0$ – иначе. Предположим, что размеры всех объектов удовлетворяют равенству $l_o = 1$, в этом случае следующее рекуррентное соотношение сохраняется и для общего случая:

$$f_k(r) = \min_{c: r - l_{o_k} \delta_c \geq 0} (\text{cost}_{o_k c} + f_{k-1}(r - l_{o_k} \delta_c)),$$

$$f_0(r) = 0 \text{ для любого } r.$$

Поиск оптимальной стоимости методами целочисленного линейного программирования сокращает вычисление функции $f_N(r)$ при $r = (C_1, C_2, \dots, C_M)$.

Неметрическая задача размещения данных с объектами одинакового размера и фиксированным числом клиентов может быть решена оптимально за полиномиальное время.

Приведённое рекуррентное отношение позволяет получить эффективный алгоритм динамического программирования для определения оптимальной стоимости. Векторы доступной памяти r могут иметь значения из множества размеров $\prod_{j=1}^M C_j \leq C_{\max}^M$, где C_{\max} – максимальный размер хранилища данных.

Полагая, что значения $f_k(r)$ хранятся в массиве и вычисляются от $k = 1$ до $k = N$, получим, что для каждого значения r время, необходимое для вычисления функции $f_k(r)$, сравнимо с 2^M , так как должно быть проверено не более 2^M конфигураций. В данном случае время вычисления – это количество элементарных операций, совершающихся машиной, вычисляющей функцию. В дальнейшем будем обозначать время работы такой машины (или сложность вычисления), как $O(K)$, где K – максимальное количество операций. Общее время работы алгоритма, решающего задачу, сравнимо с $O(N2^M C_{\max}^M)$. Так как рассматриваемые объекты одного размера, т. е. $l_o = 1, \forall o \in O$, то можно считать, без потери общности, что для любой пропускной способности существует ограничение $C_j \leq N$. Меняя ограничение пропускной способности канала на $C_j := N$, получим эквивалентную ситуацию, потому что в описанной модели у клиентов нет мотивов для копирования любого объекта дважды, и это не влияет на общую стоимость доступа. Таким образом, время вычисления ограничено числом $O(N^{M+1})$.

Рассмотрим случай, когда объекты имеют различные размеры. Предыдущий алгоритм динамического программирования фактически псевдопо-

линомиальный, так как сложность вычисления $O(N^M C_{\max}^M)$ основана на максимальном размере C_{\max} зарезервированной памяти. В случае объектов равного размера можно ограничить величину памяти C_{\max} общим числом объектов и таким образом получить полиномиальный алгоритм. В случае когда объекты имеют произвольный размер, ограничение $C_{\max} \leq N$ не сохраняется и алгоритм становится псевдополиномиальным.

Алгоритм 1 DP-NU (S, O, ε):

1. $\alpha \leftarrow (\varepsilon l_{\max}) / N$; // обновляем длины объектов.
2. Для каждого $o \in O$ делать: // объявление цикла действий для всех объектов o .
3. $l'_o \leftarrow \lfloor l_o / \alpha \rfloor$; // обновляем размеры кэшей.
4. Для каждого $j \in S$ делать: // объявление цикла действий для всех пользователей j .
5. $C'_j \leftarrow \lfloor C_j \alpha \rfloor$; // используем обновлённые длины и размеры кэшей в программе.
6. $Opt_\alpha \leftarrow$ оптимальное решение ЦЛП $_\alpha^*$.
7. Вывод Opt_α .

Составим полиномиальный алгоритм в случае произвольных объектов. Пусть $\alpha = \varepsilon l_{\max} / N$, где ε – произвольная малая положительная константа, меняющая длины объектов и размеры хранилища. Для вычисления решения используем алгоритм 1, где ЦЛП $_\alpha$ означает целочисленную линейную программу, полученную из ЦЛП использованием длины l'_o (области памяти C'_j) вместо l_o (области памяти C_j) для всех объектов o и всех клиентов j .

Отметим, что ценовая функция в ЦЛП $_\alpha$ такая же, как и в ЦЛП, т. е. стоимости $\text{cost}_{oc} = \sum_{j \in S} (1 - p_{cj}) w_{jo} l_o d_j(c) + \sum_{j \in S} p_{cj} f_j^o$ вычисляются с использованием начальных длин l_o .

Для $\alpha \geq 0$ любое решение x ЦЛП является решением и для ЦЛП $_\alpha$.

Пусть вектор $x = (x_{oc})$, где $x_{oc} = \{1, 0\}$ – бинарные переменные для определения выбора c -размещения по отношению к объекту o , является решением ЦЛП. Тогда $\forall j \in S$ и справедливы следующие неравенства:

$$\begin{aligned} \sum_{o \in O} \sum_{c \in C} \left\lfloor \frac{l_o}{\alpha} \right\rfloor p_{cj} x_{oc} &\leq \sum_{o \in O} \sum_{c \in C} \left\lfloor \frac{l_o}{\alpha} p_{cj} x_{oc} \right\rfloor \leq \\ &\leq \left\lfloor \sum_{o \in O} \sum_{c \in C} \frac{l_o}{\alpha} p_{cj} x_{oc} \right\rfloor \leq \left\lfloor \frac{C_j}{\alpha} \right\rfloor \end{aligned} \quad (1)$$

где первое неравенство следует из того, что величины p_{cj} и x_{oc} – целые числа, второе неравенство –

* ЦЛП – целочисленная линейная программа.

стандартное, а последнее получается из выражения $\sum_{o \in O} \sum_{c \in C} l_o p_{cj} x_{oc} \leq C_j$, так как x допустимое решение ЦЛП. Следовательно, решение x удовлетворяет условию $\sum_{o \in O} \sum_{c \in C} l'_o p_{cj} x_{oc} \leq C'_j$, и x – допустимое решение ЦЛП _{α} .

Если ЦЛП _{α} не имеет решений, то и ЦЛП также не имеет решений. Однако, если ЦЛП не имеет допустимых решений, то ЦЛП _{α} может иметь допустимые решения. Далее полагаем, что ЦЛП имеет хотя бы одно допустимое решение, для того чтобы существовала возможность определить оптимальное решение Opt .

Алгоритм DP-NU(S, O) возвращает оптимальное решение ЦЛП, используя алгоритм εl_{\max} , который является полиномиальным и зависит от размера входных данных N и $1/\varepsilon$, где ε – произвольная малая положительная константа; l_{\max} – размер наибольшего объекта.

Как показано выше, стоимость решения Opt_{α} не больше, чем стоимость решения Opt . Более того, используя неравенство (1) получим

$$\begin{aligned} \sum_{o \in O} \sum_{c \in C} \left\lfloor \frac{l_o}{\alpha} \right\rfloor p_{cj} x_{oc} &\geq \sum_{o \in O} \sum_{c \in C} \left(\frac{l_o}{\alpha} - 1 \right) p_{cj} x_{oc} \geq \\ &\geq \sum_{o \in O} \sum_{c \in C} \frac{l_o}{\alpha} p_{cj} x_{oc} - N, \end{aligned}$$

из чего следует

$$\begin{aligned} \sum_{o \in O} \sum_{c \in C} l_o p_{cj} x_{oc} &\leq \alpha \sum_{o \in O} \sum_{c \in C} \left\lfloor \frac{l_o}{\alpha} \right\rfloor p_{cj} x_{oc} + \\ &+ \alpha N \leq \alpha \left\lfloor \frac{C_j}{\alpha} \right\rfloor + N\alpha \leq C_j + N\alpha. \end{aligned}$$

Выбирая $\alpha = \varepsilon l_{\max}/N$ получим выражение

$$\sum_{o \in O} \sum_{c \in C} l_o p_{cj} x_{oc} \leq C_j + \varepsilon l_{\max} \quad (2)$$

Следовательно, размер каждой выделенной области памяти отклоняется от изначального ограничения не более чем на значение εl_{\max} .

При вычислении сложности без потери общности для выделенной памяти каждого пользователя j можно считать, что $C_j \leq Nl_{\max}$. Изменим пропускную способность на $C_j = Nl_{\max}$. Такое изменение не окажет влияния на общую стоимость доступа, так как клиенту незачем копировать любой объект дважды:

$$C'_j = \left\lfloor \frac{C_j}{\alpha} \right\rfloor \leq \frac{C_j}{\alpha} \leq \frac{Nl_{\max}}{\alpha} \leq \frac{N^2}{\varepsilon}.$$

В результате проведённых операций получим $C'_{\max} = \max_{j \in S} C'_j \leq N^2 / \varepsilon$. Воспользовавшись ранее описанной техникой анализа, получим вычислительную сложность $O(N^{2M+1} \varepsilon^{-M})$. Отметим, что, если значение α достаточно велико, некоторые размеры $\lfloor l_o / \alpha \rfloor$ могут быть равны нулю. В этом случае алгоритм динамического программирования может быть ускорен для таких объектов, так как оптимальное размещение состоит в том, чтобы разместить объекты на каждой машине.

Неметрическая задача размещения данных с объектами неодинаковой длины и фиксированным числом клиентов может быть решена оптимально за полиномиальное время с использованием алгоритма εl_{\max} , зависящего от вместимости машин, где ε – произвольная малая положительная константа; l_{\max} – размер наибольшего объекта.

Описанный выше алгоритм εl_{\max} является асимптотически строгим. Чтобы пояснить это, опишем пример с N объектами и двумя клиентами M_1 и M_2 . Длины объектов равны $l_i = (1-\delta)/N$ для $i = 1, \dots, (N-1)$ и $l_N = l_{\max} = 1/\varepsilon$, где $0 < \varepsilon < 1$ и $0 < \delta < 1$. Вместимость хранилищ пользователей равна $C_1 = \varepsilon l_{\max} = 1$ для M_1 и $C_2 = 1/\varepsilon$ для M_2 . Все установочные стоимости равны 0. Требование пользователя M_1 равно 1 для $(N-1)$ объектов и отсутствует для объекта N . Пользователь M_2 имеет требование, равное 1 для $(N-1)$ объектов, и требование N для объекта под номером N . В оптимальном решении Opt M_1 копирует все $(N-1)$ объекты, а M_2 только объект под номером N . Во время работы алгоритма размеры объектов i , $1 \leq i \leq (N-1)$ изменяются до $l'_i \lfloor l_i / \alpha \rfloor = \lfloor 1-\delta \rfloor = 0$. Размер объекта под номером N становится равным $l'_{\max} = \lfloor N/\varepsilon \rfloor$, в то время как размеры выделенной памяти изменятся на $C'_1 = \lfloor 1/\alpha \rfloor = N$ и $C'_2 = \lfloor N/\varepsilon \rfloor$. В оптимальном решении Opt_{α} клиент M_1 снова выбирает копирование $(N-1)$ объектов, на которые у него есть запрос, а клиент M_2 теперь может выбрать все N объектов. После восстановления исходных размеров объектов и вместимостей памяти машин общий рост стоимости обусловлен только запросом клиента M_2 и равен $(N-1)((1-\delta)/N)$. Выбирая параметр $\delta = 1/(N-1)$, получим, что общая стоимость равна $1 - (2/N)$, при предельном переходе: $1 = \varepsilon \cdot \frac{1}{\varepsilon} = \varepsilon l_{\max}$, когда N стремится к бесконечности.

Задача о страничном размещении является важным обобщением задачи размещения данных. В этой задаче у каждого клиента сети есть дополнительное ограничение на число других клиентов, которых он может обслужить, отдельно от ограничения на размер его хранилища данных.

В задаче страничного размещения ограничения навязаны числом пользователей, которые могут связаться с заранее определённой, особо выделенной областью памяти для доступа к объектам.

Максимальное число пользователей k_j может получить доступ к памяти пользователя j . Если тот же пользователь запрашивает доступ к памяти пользователя j для разных объектов, то он учитывается только один раз. Количество клиентов, уже получивших доступ к хранилищу пользователя j , обозначим l_j . Очевидно, в этой задаче клиент, запрашивающий объект, не всегда может использовать ближайшую машину, которая содержит копию нужного ему объекта.

Обозначим доступный вектор загрузок $t = (t_1, t_2, \dots, t_M)$, где $t_j = k_j - l_j$. Число векторов загрузок ограничено произведением $\prod_{j=1}^M (k_j + 1) \leq (M+1)^M$. Для любой конфигурации c обозначим, как и ранее, δ_c её вектор использования машин, т. е. для $1 \leq i \leq M$, $\delta_c^i = 1$ если конфигурация c включает машину m_i , и $\delta_c^i = 0$ – иначе.

Зададим объект o с конфигурацией c , тогда c -размещением назовём такое размещение, когда машина m принимает объект o только в случае $m \in c$. В c -размещении пользователи, машины которых не входят в конфигурацию c , нуждаются в пути доступа к объекту o , который они запрашивают. Назовём такой путь *схемой соединения* ρ с отношением к конфигурации c , а также обозначим множество всех возможных схем соединения величиной Φ_c . Пусть имеем схему $\rho \in \Phi_c$ для всех пользователей j , не участвующих в конфигурации c ($j \notin c$), и всех пользователей i , участвующих в конфигурации c ($j \in c$), задаём $\rho_{ij} = 1$, если пользователь j получает объект o от пользователя i , и $\rho_{ij} = 0$ – иначе. Кроме того, для $j \in c$ и всех i показатель $\rho_{ij} = 0$. Отметим, что мощность множества Φ_c ограничена значением $|c|^{M-|c|} \leq M^M$. Затем определим предысторию s следующим образом: $s_{ij} = 1$, если данные машины m_j ранее использовались машиной m_i для доступа к объекту, и $s_{ij} = 0$ – иначе. Число предысторий равно $2^{M(M-1)/2}$. Задав значения ρ и s , определяем через $s \vee \rho$ обновлённую схему предыстории относительно конкретной схемы соединения ρ . Обновлённая предыстория может быть получена применением логического или между ρ и s , т. е. $(s \vee \rho)_{ij} = s_{ij} \vee \rho_{ij}$.

Для схемы соединения $\rho \in \rho_c$ и предыстории $s \Delta_{\rho,s} = (\Delta_{\rho,s}^i)_{i=1}^M$ – вектор, который показывает для каждой машины m_i число машин, присоединённых к ней впервые. Такой вектор может быть получен следующим образом: для $1 \leq i \leq M$ каждый элемент $\Delta_{\rho,s}^i$ может быть получен из выражения $\Delta_{\rho,s}^i = \sum_{j=1}^M \rho_{ij} (1 - s_{ij})$. Далее определяем стоимость $\text{cost}_{o,c,\rho} = \sum_{i \in c} d_{ij} w_{j0} l_o \rho_{ij} + \sum_{i \in c} f_i^o$.

Для $1 \leq k \leq N$ через $f_k(r, t, s)$ определена стоимость, связанная с оптимальным способом размещения объектов o_1, \dots, o_k в зарезервированных областях памяти на машинах пользователей. Ве-

личины r, t и s являются векторами наличия памяти, загрузки и доступа соответственно. Тогда

$$\begin{aligned} f_k(r, t, s) = & \min_{\substack{c \in C: \\ r - l_k \delta_c \geq 0}} \min_{\substack{\rho \in \rho_c: \\ t - \Delta_{\rho,s} \geq 0}} (\text{cost}_{o_k, c, \rho} + \\ & + f_{k-1}(r - l_{o_k} \delta_c, t - \Delta_{\rho,s}, s \vee \rho)), \end{aligned}$$

$f_0(r, t, s) = 0$ для любых значений r, t, s .

Из описанного выше следует, что неметрическая задача страничного размещения с одинаковым размером объектов и фиксированным числом клиентов может быть решена оптимально за полиномиальное время.

Поиск оптимальной стоимости в задаче сводится к вычислению $f_N(r, t, s)$ при $r = (C_1, \dots, C_M)$, $t = (k_1, \dots, k_M)$ и $s = (0, \dots, 0)$. Время, затрачиваемое на вычисление функции $f_k(r, t, s)$, сравнимо с $O(2^M M^M M)$; существует не более $N C_{\max}^M M^M \times \times 2^{M(M-1)/2}$ троек r, t, s . Как и при рассмотрении случая фиксированного числа клиентов, можно считать, что если $C_{\max} \leq N$, то общая сложность $O(N^{M+1})$.

Для случая с объектами разного размера такое рекуррентное отношение сохраняется, и, используя технику и анализ такие же, как и в задаче размещения данных с объектами разного размера, получим общую сложность $O(N^{2M+1} \varepsilon^{-M})$ и следующий результат: неметрическая задача страничного размещения с неодинаковыми размерами объектов и фиксированным числом клиентов может быть решена оптимально за полиномиальное время с помощью алгоритма εl_{\max} , зависящего от пропускных способностей машин, где ε – случайная малая положительная константа, l_{\max} – размер наибольшего объекта.

В статье рассмотрены проблемы копирования данных среди фиксированного числа пользователей сети, а также описаны оптимальные алгоритмы посредством введения понятия конфигураций. В задаче о страничном размещении данных удовлетворено дополнительное ограничение на максимальное число клиентов, которое может быть обслужено одним пользователем. Предложенные алгоритмы решают обе задачи оптимально в случае, когда все объекты имеют одинаковый размер. Когда объекты имеют разные размеры, также находим оптимальное решение, хотя и с небольшим, асимптотически строгим отклонением размера хранилища каждого пользователя на εl_{\max} , где l_{\max} – максимальный размер объекта данных; ε – некая случайная малая положительная константа. В то же время не требуется никаких ограничений на топологию сети; таким образом получены нетривиальные результаты для неметрической задачи размещения данных.

Описанная техника представляет собой основу, которая может быть использована для оптимального решения разных расширений задач:

k -медианный вариант, где верхняя граница k_0 обусловлена числом копий объекта o , который может быть продублирован в сети;

связанная задача размещения данных [4], где вместо размещения объектов все клиенты, имеющие копию одного объекта, должны быть соединены через направленное дерево Штейнера.

Более того, эта техника может быть применена для других вариантов задач размещения данных, например для размещения данных, допускающего ошибки [5], где каждый пользователь может быть обслужен заданным числом машин, а стоимость обслуживания получена суммированием стоимостей доступа к этим машинам.

Представленные алгоритмы сохраняют полиномиальную сложность вычислений независимо от принятой метрики. Важным аспектом дальнейших исследований в этой области является модификация полученного алгоритма для того, чтобы охватить обобщения задач, включающие платежи за услуги связи. В таких обобщениях, кроме предпочтений по объектам, каждый клиент будет иметь ограниченный бюджет для платежей дру-

гим пользователям, чтобы получить их разрешение на дублирование конкретного объекта.

На основе данной математической модели была разработана структура компьютерной сети одного из среднепрофессиональных учебных заведений Омской области.

Компьютерная сеть проходит апробацию, работает без сбоев, и поэтому данная структура предлагается для других учебных заведений.

Библиографические ссылки

1. **Leff A.** Replication algorithms in a remote caching architecture / Leff A., Wolf J.L., Yu P.S. // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 4(11), 1993, p. 1185–1204.
2. **Korupolu M.R.** Placement algorithms for hierarchical cooperative caching / Korupolu M.R., Plaxton C.G., Rajaraman R. // Journal of Algorithms, 38(1), 2001, p. 260–302.
3. **Baev I.D.** Approximation algorithms for data placement in arbitrary networks / Baev I.D., Rajaraman R. // In Proceedings of the ACM-SIAM Annual Symposium on Discrete Algorithms (SODA), 2001, p. 661–670.
4. **Baev I.D.** Approximation algorithms for data placement problems / Baev I.D., Rajaraman R., Swamy C. // SIAM Journal on Computing, 38(4), 2008, p. 1411–1429.
5. **Swamy C.** Fault-tolerant facility location / Swamy C., Shmoys D.B // ACM Transactions on Algorithms, 4(4), 2008, p. 265–279.

УДК 519.81

А.Д. Крутыхин, А.П. Кузнецов, канд. техн. наук, доц.

(Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета)

alexey.Krutikhin@gmail.com

ОПИСАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ СИНТЕЗА МАРШРУТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрена вероятностная модель синтеза маршрутных технологических процессов, с использованием которой может быть получен максимально вероятный технологический маршрут изготовления машиностроительного изделия, а также маршрут, обеспечивающий минимальные производственные затраты.

Ключевые слова: производственный цикл, прогноз, межоперационный перерыв.

The synthesis probabilistic model of the route technological processes is considered. by using this model can be obtained the most probable technological route for industrial product manufacture, as well as the route that provides the minimum production cost.

Key words: production cycle, prognosis, interoperational interruption.

В работе [1] представлен базовый алгоритм процесса изготовления изделия, применяемый на большинстве машиностроительных предприятий. Данный алгоритм имеет два основных недостатка:

недостаточный контроль времени начала и завершения технологических операций;

отсутствие контроля длительности межоперационных перерывов.

Поэтому был предложен расширенный алгоритм изготовления изделия [1]. В отличие от базового данный алгоритм подразумевает выполнение следующих основных функций [2–3]:

прогноз длительности производственного цикла и межоперационных перерывов на этапе конструкторской подготовки производства. Выполняется на основе наиболее вероятного технологического маршрута, получаемого с использованием

вероятностной модели синтеза маршрутных технологических процессов;

прогноз длительности производственного цикла и межоперационных перерывов на этапе технологической подготовки производства (ТПП). Выполняется на основе технологического процесса, разработанного в рамках этапа ТПП. Целью прогноза является более точная оценка временных затрат, а также создание контрольных точек для последующего систематического контроля;

мониторинг, включающий контроль времени начала и завершения технологических операций, а также контроль длительности межоперационных перерывов. Основной задачей, решаемой с помощью мониторинга, является соблюдение запланированных сроков изготовления изделия.

Для решения задачи прогнозирования длительности производственного цикла и межоперационных перерывов [1–3] была разработана вероятностная модель синтеза маршрутных технологических процессов, применение которой позволяет получить наиболее вероятный технологический маршрут изготовления детали на ранних этапах подготовки производства. Использование данной модели на этапе ТПП позволит сформировать технологический маршрут, обеспечивающий минимальные производственные затраты.

Определение наиболее вероятного технологического маршрута заключается в выделении конструктивно-технологических элементов (КТЭ) [4] изготавливаемой детали и последующем формировании множества технологических операций, применяемых для их получения. На основе полученного множества технологических операций, собранных статистических данных и сформулированных правил формируется наиболее вероятный технологический маршрут.

Технологический процесс в зависимости от характера и точности операций может быть разделен на 13 этапов: заготовительный, черновой, термический I, получистовой I, термический II и т. д. [5]. В каждый этап включаются однородные по характеру и точности методы обработки различных поверхностей, выполняемые один за другим. Для конкретной детали в зависимости от её точности, материала и вида термообработки, а также для целых производственных систем некоторые из этапов могут отсутствовать.

Разделение технологического процесса на этапы может быть представлено в виде множества

$$ETP^{\Pi C_k} = \{ETP_1^{\Pi C_k}, ETP_2^{\Pi C_k}, \dots, ETP_{13}^{\Pi C_k}\}$$

где $ETP^{\Pi C_k}$ – множество всех возможных этапов технологического процесса для k -й производственной системы; $ETP_i^{\Pi C_k}$ – i -й этап технологического процесса для k -й производственной системы.

Каждому из этапов множества $ETP^{\Pi C_k}$ соответствует множество возможных технологических операций $TO_1^{ETP_i}, TO_2^{ETP_i}, \dots, TO_n^{ETP_i}$, характерных для данного этапа i в рамках рассматриваемой производственной системы.

Таким образом, любой маршрутный технологический процесс можно представить как упорядоченное множество технологических операций $TO_n^{ETP_i}$.

Данное упорядоченное множество может быть представлено в виде ориентированного графа $G^{TP_m}(V^{TP_m}, E^{TP_m})$, где V^{TP_m} – множество вершин графа; E^{TP_m} – упорядоченное множество рёбер графа. Вершинам графа будут соответствовать технологические операции, а рёбрам графа – порядок их следования (маршрут выполнения).

Задача синтеза маршрутного технологического процесса для конкретной детали заключается в формировании множеств V^{TP_m} и E^{TP_m} . Методика применяется на этапе конструкторской подготовки производства, т. е. на начальных стадиях технической подготовки производства, когда имеется лишь комплект конструкторской документации, что является новым решением.

Множество V^{TP_m} может быть сформировано на основе теории конструктивно-технологической сложности (КТС).

Каждый КТЭ представляет одну или несколько поверхностей детали, для обработки которых применяется одна технологическая операция.

Исходя из этого, каждому КТЭ сопоставлена технологическая операция, используемая для его обработки.

Множество E^{TP_m} предлагается формировать на основе методов математической статистики, теории вероятностей и теории графов. Задача формирования множества E^{TP_m} сводится к нахождению кратчайшего пути следующим образом:

1) определены все возможные технологические операции для каждого этапа $ETP_i^{\Pi C_k}$ в рамках рассматриваемой производственной системы. Сформировано множество $ETP^{\Pi C_k}$. При этом возможно существование $ETP_i^{\Pi C_k} = 0$ в случае отсутствия технологических операций, соответствующих i -му этапу;

2) сформировано множество $E^{\Pi C_k}$ всех возможных переходов между технологическими операциями, полученными на предыдущем этапе: $E^{\Pi C_k} = \{(TO_x^{ETP_i}, TO_y^{ETP_j}) \in E^{TP_i} \times E^{TP_j}: \text{возможен переход из } TO_x^{ETP_i} \text{ в } TO_y^{ETP_j}\};$

3) назначены веса полученным переходам множества $E^{\Pi C_k}$. В качестве веса используется вероятность осуществления данного перехода. Сформировано множество $P^{\Pi C_k}$.

Множества $ETP^{\Pi C_k}$, $E^{\Pi C_k}$ и $P^{\Pi C_k}$ образуют ориентированный взвешенный граф $G^{\Pi C_k}(ETP^{\Pi C_k},$

$E^{\Pi C_k}$). При этом для любого маршрутного технологического процесса, представленного с помощью графа, справедливо $G^{TP_m} \leq G^{\Pi C_k}$, т. е. любой граф G^{TP_m} будет являться подграфом (компонентой) графа $G^{\Pi C_k}$.

С учётом дальнейшей реализации методики на ЭВМ с использованием одного из языков программирования граф $G^{\Pi C_k}$ представлен в виде матриц смежности AM и вероятностей PM . Однако в связи с достаточно большим количеством возможных этапов и соответствующих им технологическим операциям полученный граф рассматривается в виде множества отдельных подграфов. Каждый из подграфов описан матрицей смежности и вероятностей.

Множество всех матриц смежности графа $G^{\Pi C_k}$ обозначим как $AM^{\Pi C_k}$, тогда

$$AM^{\Pi C_k} = \{AM_{Int}^{\Pi C_k}, AM_{Ext}^{\Pi C_k}\},$$

где $AM_{Int}^{\Pi C_k}$ – множество матриц смежности, описывающих подграфы, представленные отдельными этапами $ETP_i^{\Pi C_k}$; $AM_{Ext}^{\Pi C_k}$ – множество матриц смежности, описывающих подграфы, представленные межэтапными переходами $ETP_i^{\Pi C_k} - ETP_j^{\Pi C_k}$.

Множество $AM_{Int}^{\Pi C_k}$ может быть записано следующим образом:

$$AM_{Int}^{\Pi C_k} = \{AM_{\Pi C_k}^{ETP_1}, AM_{\Pi C_k}^{ETP_2}, \dots, AM_{\Pi C_k}^{ETP_{13}}\};$$

$$AM_{\Pi C_k}^{ETP_i} = [a_{k,l}^{ETP_i}],$$

где $k, l = 1, 2, 3, \dots, n$.

Формирование матриц $AM_{\Pi C_k}^{ETP_i}$ осуществляется в соответствии со следующим правилом:

$$a_{k,l}^{ETP_i} = \begin{cases} 1, & \text{если возможен переход с } TO_k^{ETP_i} \\ & \text{на } TO_l^{ETP_i}; \\ 0, & \text{если переход с } TO_k^{ETP_i} \text{ на } TO_l^{ETP_i} \\ & \text{невозможен.} \end{cases}$$

Множество $AM_{Ext}^{\Pi C_k}$ может быть представлено как

$$AM_{Ext}^{\Pi C_k} = \{AM_{\Pi C_k}^{ETP_i - ETP_j} \mid i < j\};$$

$$AM_{\Pi C_k}^{ETP_i - ETP_j} = [a_{k,l}^{ETP_i - ETP_j}],$$

где $k, l = 1, 2, 3, \dots, n$.

Формирование матриц $AM_{\Pi C_k}^{ETP_i - ETP_j}$ осуществляется в соответствии со следующим правилом:

$$a_{k,j}^{ETP_i - ETP_j} = \begin{cases} 1, & \text{если возможен переход с } TO_k^{ETP_i} \\ & \text{на } TO_l^{ETP_j}; \\ 0, & \text{если переход с } TO_k^{ETP_i} \text{ на } TO_l^{ETP_j} \\ & \text{невозможен.} \end{cases}$$

Множество всех матриц вероятностей графа $G^{\Pi C_k}$ обозначим как $PM^{\Pi C_k}$:

$$PM^{\Pi C_k} = \{PM_{Int}^{\Pi C_k}, PM_{Ext}^{\Pi C_k}\},$$

где $PM_{Int}^{\Pi C_k}$ – множество матриц вероятностей $PM_{\Pi C_k}^{ETP_i}$, описывающих подграфы, представленные отдельными этапами $ETP_i^{\Pi C_k}$; $PM_{Ext}^{\Pi C_k}$ – множество матриц вероятностей $PM_{\Pi C_k}^{ETP_i - ETP_j}$, описывающих подграфы, представленные межэтапными переходами $ETP_i^{\Pi C_k} - ETP_j^{\Pi C_k}$.

Элементами матриц $PM_{\Pi C_k}^{ETP_i}$ и $PM_{\Pi C_k}^{ETP_i - ETP_j}$ будут вероятности осуществления перехода с $TO_k^{ETP_i}$ на $TO_l^{ETP_i}$ для $PM_{\Pi C_k}^{ETP_i}$, и перехода с $TO_k^{ETP_i}$ на $TO_l^{ETP_j}$ для $PM_{\Pi C_k}^{ETP_i - ETP_j}$ соответственно.

Имея множество $ETP^{\Pi C_k}$ и множества $E^{\Pi C_k}$, и $P^{\Pi C_k}$, образующие ориентированный взвешенный граф $G^{\Pi C_k}$, или множества $AM^{\Pi C_k}$ и $PM^{\Pi C_k}$, описывающие данный граф с помощью матриц смежности и вероятностей, для заданного V^{TP_m} может быть определён маршрут, проходящий через все вершины множества V^{TP_m} (все технологические операции) и имеющий наибольшую вероятность. Данный маршрут является искомым множеством E^{TP_m} графа G^{TP_m} . Эта задача сформулирована как задача нахождения кратчайшего пути, если вместо вероятностей использовать логарифмы вероятностей. В этом случае произведение вероятностей преобразуется в сумму логарифмов вероятностей: если $P = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_k$ – вероятность технологического маршрута, то $1 \rightarrow 2 \dots \rightarrow k$, а $\lg P = \lg P_1 + \lg P_2 + \dots + \lg P_k$.

Задача максимизации вероятности P эквивалента задаче максимизации величины $\lg P$. Поскольку $\lg P \leq 0$, задача максимизации величины $\lg P$ эквивалентна задаче минимизации $-\lg P$. Заменив в полученном графе вероятности P_k на величины $-\lg P_k$, получим граф, к которому можно применить алгоритм нахождения кратчайшего пути. Для алгоритма нахождения кратчайшего пути сформулированы следующие правила:

1. Обход вершин, представленных множеством V^{TP_m} , начинается с технологических операций,

относящихся к этапу технологического процесса с меньшим индексом, и заканчивается технологическими операциями, относящимися к этапу с наибольшим индексом.

2. Переход к следующему этапу производится только после обхода всех вершин в рамках текущего этапа.

Таким образом, для применения данной модели необходимо сформировать:

множество $ETP^{\Pi C_k}$ всех возможных технологических операций для каждого из этапов технологического процесса;

множество матриц смежности $AM^{\Pi C_k}$, описывающее множество всех возможных переходов между технологическими операциями;

множество матриц вероятностей $PM^{\Pi C_k}$, содержащее вероятности выполнения перехода для элементов множества $AM^{\Pi C_k}$;

на основе множества КТЭ исследуемой детали множество V^{TP_m} ;

на основе методов математической статистики, теории вероятностей и теории графов множество E^{TP_m} , являющееся наиболее вероятным технологическим маршрутом.

Формирование технологического маршрута, обеспечивающего наименьшие временные затраты, на этапе ТПП выполняется аналогичным образом, с той лишь разницей, что в этом случае в качестве веса для переходов множества $E^{\Pi C_k}$ необходимо использовать время межоперационных перерывов (МП) [3]. Таким образом, в представленном выше алгоритме вместо множества $P^{\Pi C_k}$ будет использовано множество $TM^{\Pi C_k}$:

$$TM^{\Pi C_k} = \{TM_{Int}^{\Pi C_k}, TM_{Ext}^{\Pi C_k}\},$$

где $TM_{Int}^{\Pi C_k}$ – множество матриц $TM_{\Pi C_k}^{ETP_i}$ значений выборочного среднего времени МП в рамках отдельных этапов $ETP_i^{\Pi C_k}$; $TM_{Ext}^{\Pi C_k}$ – множество матриц $TM_{Ext}^{ETP_i-ETP_j}$ значений выборочного среднего времени МП в рамках межэтапных переходов $ETP_i^{\Pi C_k}-ETP_j^{\Pi C_k}$.

Элементами матриц $TM_{\Pi C_k}^{ETP_i}$ и $TM_{Ext}^{ETP_i-ETP_j}$ будут значения выборочного среднего времени МП $TO_k^{ETP_i} - TO_l^{ETP_i}$ для $TM_{\Pi C_k}^{ETP_i}$ и МП $TO_k^{ETP_i} - TO_l^{ETP_i}$ для $TM_{Ext}^{ETP_i-ETP_j}$ соответственно.

Вероятностная модель синтеза маршрутных технологических процессов может быть использована для формирования технологического маршрута, обеспечивающего минимальные временные затраты. Для этого необходимо в качестве веса рёбер графа $G^{\Pi C_k}$ использовать значения выборочного среднего времени МП (множество $TM^{\Pi C_k}$) вместо вероятностей осуществления переходов (множество $P^{\Pi C_k}$).

Реализация вероятностной модели синтеза маршрутных технологических процессов и методики прогнозирования длительности МП в рамках разрабатываемой автоматизированной системы позволяет вести постоянный сбор и обработку статистических данных. Как следствие, данные, служащие основой при формировании матриц $AM^{\Pi C_k}$, $PM^{\Pi C_k}$, $TM^{\Pi C_k}$, а также множества $ETP^{\Pi C_k}$ всегда будут актуальны. Поэтому сформированные технологические маршруты в любой момент будут учитывать текущее состояние дел на предприятии.

Библиографические ссылки

1. Крутихин А.Д., Кузнецов А.П. Организация мониторинга многономерноклассовых машиностроительных производств на основе теории сложности и методов штрих-кодирования // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 2. С. 3–9.

2. Крутихин А.Д., Кузнецов А.П. Методика прогнозирования длительности производственного цикла на основе теории сложности и методов штрих-кодирования / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск: «Актуальные проблемы машиностроения». 2009. С. 198–202.

3. Крутихин А.Д. Описание и апробация методики прогнозирования длительности производственного цикла на основе теории сложности // Интеллектуальные системы в производстве. Научно-практический журнал. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2009. № 2. С. 125–138.

4. Теоретические основы конструктивно-технологической сложности изделий и структур-стратегий производственных систем машиностроения: Б.А. Якимович, А.И. Коршунов, А.П. Кузнецов. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2007. 280 с.

5. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: Под ред. В.В. Бабука. Минск: Выш. шк., 1987. 255 с.



ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

14-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА МАШИНОСТРОЕНИЯ И МЕТАЛЛООБРАБОТКИ MASHEX-2011

Mashex-2011 – 14-я международная специализированная выставка оборудования, комплектующих, материалов, технологий и услуг для металлообработки и машиностроения – прошла в ЦВК Экспоцентр в конце 2011 г. Мероприятие было организовано Международной выставочной компанией MVK при поддержке Московской торгово-промышленной палаты, Союза машиностроителей России, Российского союза литейщиков, Научно-промышленной ассоциации арматуростроителей, Ассоциации компрессорщиков и пневматиков. Основная тематика выставки включала следующие направления: металлообработка, роботы, лазеры, прецизионные машины, САИЗ/САМ, лазеры, материалы и композиты, литейные и формовочные машины, оборудование для сварки и термообработки. Оборудование и технологии в области машиностроения представили **более 130 компаний** из **9 стран** мира: *Германии, Италии, Латвии, Республики Беларусь, России, Украины, Турции, Чехии, Японии*. Экспозиционная площадь выставки составила более 6 тыс. м². Свои достижения представили такие известные компании, как СФ Технологии, Прима Пауэр, Ками-Металл, Корпорация Интервесп, Pobur International, «МВМ Инжиниринг», Группа компаний «Станко», Вебер Комеханикс, Durmazlar, Ermaksan, SPINNER-Werkzeugmaschinenfabrik и другие.

Традиционно на выставке были анонсированы новинки отрасли: **Компания «ЮНИТ МАРК ПРО»** продемонстрировала решения для промышленных предприятий: SIC Marking – промышленное оборудование для нанесения надёжной, нестираемой маркировки на металле и пластике. Инновационные технологии с использованием оптико-волоконного лазера или ударно-механического оборудования обеспечивают сохранность маркировки в течение всего срока службы изделия. **Компания МОССклад** представила монтажные, сборочные и 3D сварочные столы Tempus, отличающиеся высочайшим качеством и низкой ценой, а также промышленное маркировочное оборудование TechnoMark.

Холдинг БЕЛФИНГРУПП показал на своём стенде одну из последних разработок, которая представляет собой участок серийного производства высокопрочных пружин. Задача данного робототехнического комплекса – принятие пружи-



ны с участка навивки, перемещение в область плазменной обрезки торцов пружин и дальнейшая передача обрезанных пружин в технологический цикл производства. Использование промышленных роботов Kawasaki и оборудования плазменной резки фирмы Kjellberg позволяет добиться качественной резки сложных объёмных металлоконструкций. **ОАО «Точность»** предложила пружины из проволоки и ленты. **ОАО «Завод ПРОТОН-МИЭТ»** представил серию средств, вошедших в Госреестр РФ, для измерения линейных размеров и шероховатости поверхностей в виде линейки приборов и эталонов для их поверки: «Контурограф модели 150», «Профилометр модели 130», «Сканирующий мульти-микроскоп СММ-2000», «Меры профильные ПРО-10», «Меры рельефные Кварц ХУI 4OOZ90нм». Деловая программа выставки включала ряд конференций и круглых столов. Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения (ОАО «НПО “ЦНИИТМАШ”») провёл конференцию на тему: «Материалы, технологии, сварка, неразрушающий контроль. Проблемы сегодняшнего дня», Международная выставочная компания MVK и ЦВК «Экспоцентр» провели пресс-конференцию на тему «Стратегическое партнерство MVK и ЦВК «Экспоцентр»: выставка «Mashex при поддержке ТехноФорум 2012», на которой был анонсирован совместный проект двух ведущих выставочных организаторов. Российская Ассоциация производителей станкоинструментальной продукции «Станкоинструмент» провела конференцию «Инновационное станкостроение. Комплексные технологии. Наука. Производство». Выставка Mashex – эффективный инструмент для развития сотрудничества между производителями и потребителями машиностроительного оборудования, продвижения на производство всего лучшего, что создано в станкостроении на сегодняшний день.



ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

УДК 621.002.51

По страницам журналов

Новая полифункциональная композиция присадок на основе гетероорганических соединений к маслам с улучшенными экологическими характеристиками. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2011. № 3.

Рассмотрено использование гетероорганических соединений, включающих аммониевую соль диалкилдигофосфорной кислоты и диалкилтиурам-дисульфид в качестве присадок к маслам с улучшенными техническими и экологическими характеристиками. Представлены указанная композиция, которая не содержит металлы (беззольная), и азотсодержащая композиция, которая содержит в минимальном количестве фосфор и серу.

Новые смазки для подвижного состава железнодорожного транспорта и метрополитена. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2011. № 3.

Представлены новые разработки в области смазочных материалов для различных узлов трения подвижного состава железнодорожного транспорта и метрополитена. Показано, что применение комплексных литиевых загустителей (анизотропных наноассоциатов) и аспергирование присадок на наноуровне позволяет получить смазки с улучшенными объёмно-механическими и смазывающими свойствами.

Упорный подшипник шарошек буровых долот с повышенной несущей способностью. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2011. № 3.

Приведены результаты исследования эффективности предложенных методов повышения несущей способности упорных подшипников шарошек буровых долот, разработки и обоснования научно-технических решений.

Прогнозирование сопротивления усталости барабанов авиационных колёс, подверженных поверхностному пластическому деформированию. Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 3.

Предложена схема прогнозирования долговечности упрочнённых поверхностно-пластическим деформированием изделий, учитывающая геометрию образцов и изделий, эпюры номинальных и остаточных напряжений, а также чувствительность материала к асимметрии цикла напряжений. Показано, что поверхностно-пластическое деформирование эффективно для зон элементов конструкций с градиентами номинальных напряжений. При этом всегда будут иметь место пере-

ходные слои, где эпюра остаточных напряжений изменяет знак и чаще будет зарождаться усталостная трещина.

Применение расчётных параметров инструмента для совершенствования процесса электромонтажа накруткой. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 3.

Представлены обоснованные величины силовых параметров процесса электромонтажа накруткой: силы натяжения провода, прижима витков одного к другому и сила, определяющая мощность электропривода устройства для накрутки. Ранее полученные результаты уточнены.

Точность и стабильность технологических процессов – путь эффективного воздействия на качество изготовления сборочно-сварочных металлоконструкций. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 3.

Отражены пути достижения точности технологического процесса, вопросы контроля и предупреждения дефектов, а также методика анализа данных эксперимента по точности изготовления заготовок.

Автоматический контроль состояния сборного многолезвийного инструмента. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 3.

Представлена методика контроля состояния сборного многолезвийного инструмента в автоматическом режиме на основе регистрации и аналого-цифрового преобразования сигнала термоЭДС естественной термопары «инструмент – деталь».

Получение градиентных полимерных композиционных материалов антифрикционного назначения на основе эпоксидных смол методом центробежного формирования. Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 3.

Показано получение материала при центробежном формировании изделий из многокомпонентных компаундов, свойства которого во многом зависят от составляющих смеси, а также от их распределения в объёме изделия. Установлено, что необходимо выдерживать строгое соотношение между компонентами смеси. Приведены технологические аспекты получения градиентных полимерных композиционных материалов антифрикционного назначения на основе эпоксидных смол методом центробежного формирования.