Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов – д.э.н., проф., МГУПИ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бучаченко А.Л. – д.х.н., проф., ИПХФ РАН
Гусев А.А. – д.т.н., проф., МГТУ "СТАНКИН"
Дегтярев Ю.И. – д.т.н., проф., МАИ
Елисеев В.А. – д.т.н., Ин-т инновац.-технологич. менеджмента
Иванов А.П. – д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
Мальцева С.В. – д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Нефедов Е.И. – д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Шебалин И.Ю. – к.ф.-м.н., ООО "Изд-во Машиностроение" (заместитель главного редактора)
Янович Е.Л. – д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

Редактор организатор – **Осипова В.Г.**
Компьютерная вёрстка – **Жиркина С.А.**

6

2014

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

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

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

ООО "Издательство Машиностроение"

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

© Издательство "Машиностроение",
"Автоматизация и современные технологии", 2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Мишин А.В., Сорокин П.А. Исследование устойчивости башенных кранов на основе спектрального анализа ветрового воздействия 3

Корчак Е.С., Ковалёва О.А. Современные технологии проектирования станин промышленных газостат 7

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Головешкин В.А., Пономарёв А.В., Ульянов М.В., Жукова Г.Н. Аналитическая функция трудоёмкости в среднем алгоритма сортировки индексами на основе распределения размаха варьирования 11

Омаров М.А., Сухомлинов А.И. Моделирование программного обеспечения автоматизированной системы управления производственной логистикой 18

Неусыпин К.А., Кочешков М.А. Метод регенерации навигационного комплекса летательного аппарата 22

Кутин А.А., Долгов В.А., Милькин В.А. Метод оценки производственного потенциала многономенклатурного машиностроительного производства 27

Щербатов И.А. Коррекция глобальной цели в интеллектуальных системах управления сложными слабоформализуемыми системами 34

Пролетарский А.В., Неусыпин К.А. Оценка точности алгоритма построения моделей по данным лабораторного эксперимента с навигационными системами 40

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

Cisco расширяет локальное производство 44

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 45

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Mishin A.V., Sorokin P.A. The research of tower cranes stability based on the wind influence spectral analysis 3

Korchak E.S., Kovaleva O.A. Modern designing technology of the industrial hydrostatic presses 7

MODERN TECHNOLOGIES

Goloveshkin V.A., Ponomarev A.V., Ulyanov M.V., Zhukova G.N. An average labor input analytical function of the sorting algorithm by the indexes on the basis of the variation scope distribution 11

Omarov M.A., Sukhomlinov A.I. Software modeling for automatic control system of the production logistics 18

Neusypin K.A., Kocheshkov M.A. Regeneration method of the aircraft navigation complex 22

Kutin A.A., Dolgov V.A., Milkin V.A. Valuation method of the production complex for multiproduct machine-building production 27

Shcherbatov I.A. Global target correction in the intellectual control systems for difficult weakly formalized systems 34

Proletarskiy A.V., Neusypin K.A. Precision algorithm valuation for model construction on the grounds of laboratory experiment with navigation systems 40

EXHIBITION AND PRESENTATION

Cisco enlarges local production 44

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review 45

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); телефоны для справок: (499) 269 6600, 269 5298

Сдано в набор 01.04.14. Подписано в печать 23.05.14.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная

Отпечатано в ООО "Белый ветер"
115407, Москва, Нагатинская наб., 54

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

© Издательство "Машиностроение", "Автоматизация и современные технологии", 2014 г.

УДК 621.873.25

А.В. Мишин, П.А. Сорокин, д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ))

alexeymishin89@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БАШЕННЫХ КРАНОВ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Рассмотрен анализ частотного состава ветрового воздействия для оценки устойчивости башенных кранов.

Ключевые слова: башенный кран, ветровые нагрузки, устойчивость, резонанс, спектральная плотность мощности.

The frequency structure analysis of the wind influence for tower cranes stability valuation is considered.

Key words: tower crane, wind loading, stability, resonance, power spectral density.

По опыту эксплуатации башенных кранов их опрокидывание является следствием действия совокупности неблагоприятных факторов. При этом преобладающим воздействием является ветровая нагрузка. Поэтому на строительных объектах башенные краны должны отвечать требованиям безопасной эксплуатации, в том числе и при внешних воздействиях, обусловленных резкой сменой ветровых условий.

Башенные краны на воздействие ветра рассчитываются по нормативным документам [1, 2], один из недостатков которых заключается в допущении, что скорость ветра является квазистационарной. При мгновенном усилении скорости ветра возможны порывы, частотный состав которых близок к резонансным частотам металлоконструкции. Наиболее опасен переходный период от установившейся скорости ветра к порывам. При этом необходимо учитывать амплитуду, длительность и частотный состав отдельного порыва и нескольких порывов. Пренебрежение динамическим характером скорости ветра не позволяет определить истинную динамическую реакцию металлоконструкции. Из этого следует, что целесообразно рассматривать скорость ветра в функции времени. В нормах отсутствуют рекомендации по расчёту башенных кранов на возникновение резонансных явлений, вызванных динамическим воздействием ветра.

Целью является повышение безопасности эксплуатации башенных кранов при динамических ветровых нагрузках.

Поставлена задача оценки динамического воздействия ветра на металлоконструкции башенных кранов, решение которой основывается на спектральном анализе ветрового воздействия сравнением частот пульсаций скорости ветра с частотами собственных колебаний металлоконструкции башенных кранов [3–5].

Новизна заключается в том, что для оценки устойчивости башенных кранов учитывается стохастический характер динамических ветровых нагрузок.

Нагрузка на металлоконструкции башенных кранов от ветра обусловлена его скоростью. Различают среднюю (сглаженную) скорость ветра, полученную на основе усреднения совокупности мгновенных значений за определённый период, и истинную мгновенную скорость ветра в данный момент, характеризующую порывы. Скорость ветра можно представить в виде

$$v(t) = \overline{v} + \Delta v(t), \qquad (1)$$

где $\overline{v}$ – средняя скорость ветра, определённая за фиксированный период; $\Delta v(t)$ – мгновенная скорость ветра, характеризующая отклонение скорости ветра от среднего значения.

Средняя скорость обусловливает статическую составляющую ветровой нагрузки, а мгновенная – динамическую составляющую ветровой нагрузки. Поэтому характер воздействия ветра может быть как статическим, т. е. без характерных изменений скорости ветра, так и динамическим с ярко выра-

женными порывами, которые определяют частотный состав колебаний скорости ветра. В терминах теории случайных процессов средняя скорость является математическим ожиданием процесса, а мгновенная – среднеквадратическим отклонением (дисперсией) процесса. Пульсации мгновенной скорости ветра представляют собой множество гармонических составляющих, поэтому формулу (1) можно записать в виде

$$v(t) = \bar{v} + \sum_{i=1}^{n} a_i \sin(\omega_i t),$$

где a_i – коэффициент разложения i-й гармонической составляющей; ω_i – круговая частота i-й гармонической составляющей.

Порывы являются следствием турбулентного течения воздушных масс, вызванного взаимным трением слоёв воздуха, трением о поверхность земли и встречей с препятствиями. Процесс изменения скорости ветра является случайным, поэтому для него применимы методы теории случайных процессов. Распределение вероятностей порывов ветра в пограничном слое атмосферы описывается нормальным законом [6, 7]. Энергия порывов скорости ветра определяется спектральной плотностью мощности (СПМ), которая показывает распределение энергии колебаний скорости ветра по частотным компонентам.

Импульсная ветровая нагрузка, обусловленная порывами ветра, действует циклически со случайной повторяемостью.

При действии резко изменяющейся скорости ветра возникает реакция металлоконструкции башенного крана в виде упругих нестационарных колебаний, которые зависят от динамических свойств конструкции: собственных частот и форм колебаний, коэффициента демпфирования, а также от соотношения времени действия порыва ветра и периода собственных колебаний.

Устойчивость конструкции башенных кранов определяется резким изменением средней скорости ветра, возникновением энергоёмких порывов определённой длительности и частоты следования, а также частотным составом порывов и резонансными характеристиками конструкции.

Для корректной оценки взаимодействия ветра с металлоконструкцией башенных кранов необходимо иметь достоверную информацию о параметрах ветра. Для оценки резонансных явлений необходимо регистрировать мгновенную скорость с определённым шагом дискретизации, выбор которого обусловлен инерцией объекта, решаемой задачей и возможностями измерительной аппаратуры. Для решения поставленной задачи достаточно фиксировать мгновенную скорость ветра с шагом дискретизации $\Delta t \le 3$ с.

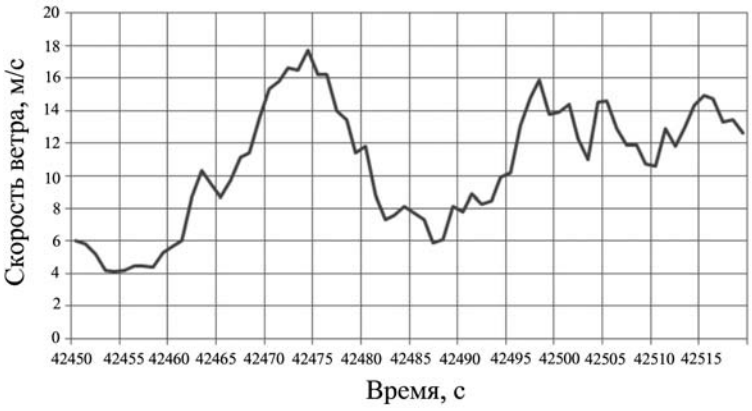


Рис. 1. Фрагмент процесса изменения скорости ветра

По данным натурного эксперимента, проведённого на высотной метеорологической мачте ВММ-310, представлен фрагмент записи скорости ветра во времени с шагом дискретизации $\Delta t = 1$ с (рис. 1).

Из-за случайного характера пульсаций скорости ветра и сложности его описания во временной области решать задачу воздействия ветра на конструкции башенных кранов необходимо с помощью спектрального анализа, позволяющего представить распределение энергии пульсаций ветра в частотной области для нахождения диапазона частот с наиболее энергоёмкими амплитудами порывов [8].

Чтобы определить частотный состав пульсаций скорости ветра необходимо найти СПМ. Расчёты проводились с помощью программного комплекса MATLAB с применением алгоритма быстрого преобразования Фурье.

Сначала рассчитывались СПМ совокупности порывов (рис. 2), а затем СПМ усреднённых порывов, найденных по множеству реализаций (рис. 3). На графиках в частотном диапазоне до 0,5 Гц отчётливо видны характерные максимумы энергии колебаний скорости ветра.

Для оценки воздействия ветра на башенные краны необходимо учитывать частоты колебаний их металлоконструкции, как основного тона, так и множества собственных форм, по которым возможны вынужденные резонансные колебания по характерным формам.

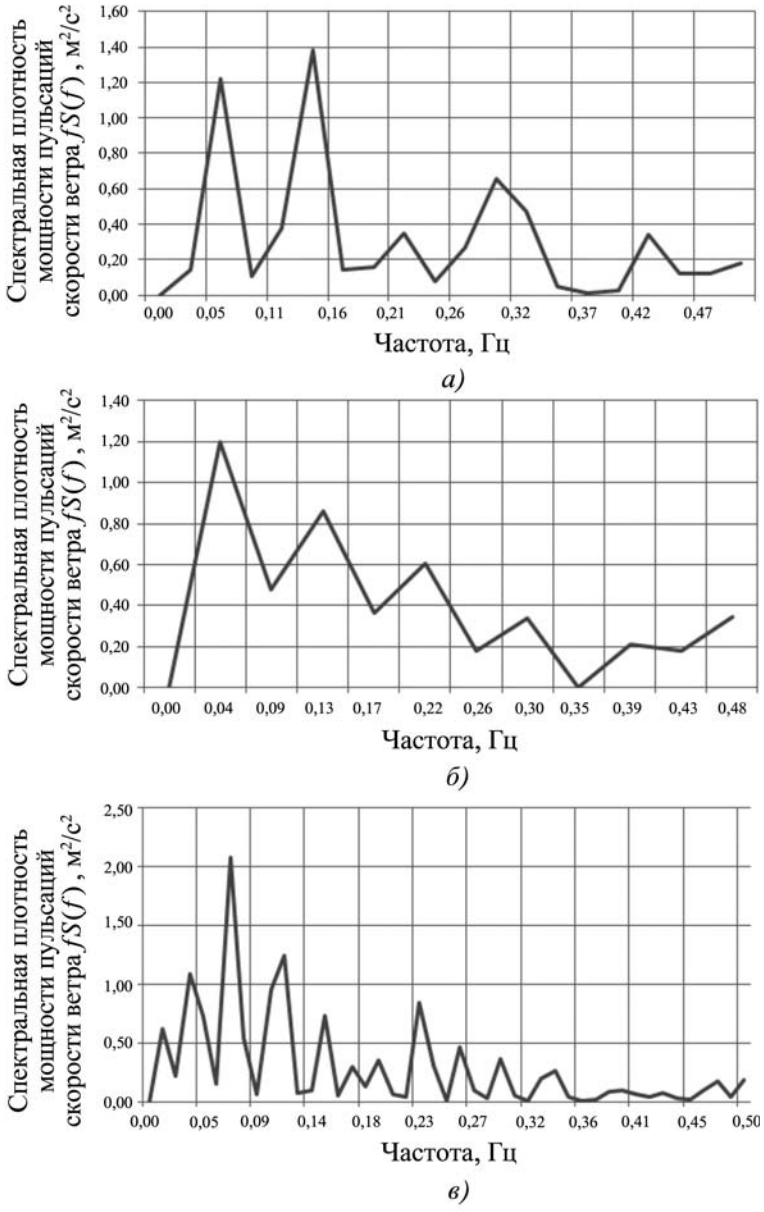


Рис. 2. Спектральная плотность мощности:
а, *б*, *в* – первой, второй, третьей совокупности порывов

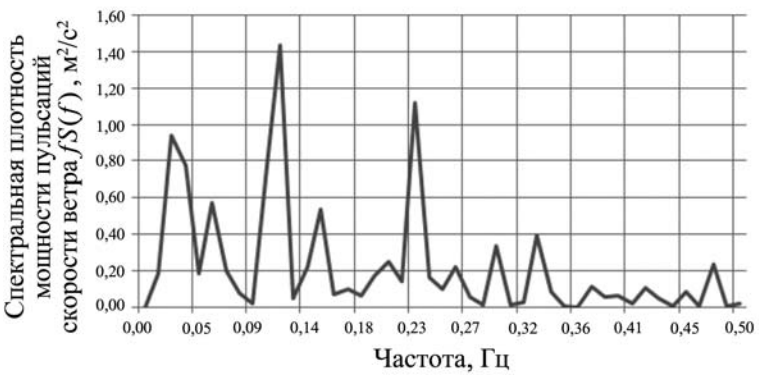


Рис. 3. Спектральная плотность мощности усреднённых порывов

Для этого в программном комплексе ANSYS проведён модальный анализ на основе метода конечных элементов. Объектом исследования является башенный кран с поворотной башней с балочной стрелой КБ-415. Была построена трёхмерная модель в масштабе 1:1 с учётом реальных сечений конструктивных элементов, их масс и материалов, создана балочная упорядоченная конечно-элементная сетка, введены граничные условия в виде ограничений степеней свободы и проведён модальный анализ с предварительным нагружением т. е. с учётом статических весовых нагрузок. Сначала расчёт проводился для башенного крана без груза на разных вылетах грузовой тележки (табл. 1). Далее расчёт выполнен при условии передвижения грузовой тележки с массой груза 1,5 т (согласно грузовой характеристике) по стреле (табл. 2).

Расчёты показали, что возможны случаи попадания частот пульсаций ветра в области резонансных собственных частот металло-

Таблица 1

Значения собственных частот башенного крана КБ-415 без груза на разных вылетах грузовой тележки

Номер собственной частоты колебания	Значения собственной частоты колебания, Гц		
	Вылет грузовой тележки, м		
	5	25	50
1	0,13037	0,12977	0,12900
2	0,22457	0,22448	0,22437
3	0,25083	0,25150	0,25270
4	0,75189	0,75572	0,75834
5	0,97378	1,01050	1,05410
6	0,98026	1,01840	1,06400
7	1,00680	1,04480	1,08930
8	1,01540	1,04940	1,09170
9	1,04220	1,07450	1,11630
10	1,39960	1,40170	1,40390

Таблица 2

Значения собственных частот башенного крана КБ-415 при передвижении грузовой тележки с грузом 1,5 т

Номер собственной частоты колебания	Значение собственной частоты колебания		
	Вылет грузовой тележки, м		
	5 (груз 1,5 т)	25 (груз 1,5 т)	50 (груз 1,5 т)
1	0,12973	0,12838	0,12622
2	0,22405	0,22384	0,22352
3	0,25064	0,25240	0,25450
4	0,75383	0,75840	0,75851
5	0,99740	1,07950	1,17080
6	1,00490	1,09100	1,18090
7	1,02630	1,10690	1,18960
8	1,03300	1,11280	1,21190
9	1,05840	1,13590	1,22930
10	1,40010	1,40600	1,41520

конструкции башенного крана. По вычисленным собственным формам генерируются вынужденные резонансные незатухающие колебания, которые увеличивают возможность опрокидывания или разрушения башенного крана.

Таким образом, на основе проведённых исследований и результатов работы [9] необходимо разработать способ, обеспечивающий устойчивость башенных кранов на основе спектрального анализа ветрового воздействия и устройство для его реализации.

Библиографические ссылки

1. **ГОСТ 1455–77.** "Краны грузоподъёмные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения". Введ. 1978-01-01.

2. **РД 22-166–86.** "Руководящий нормативный документ. Краны башенные строительные. Нормы расчета". Введ. 1987-01-01.

3. **Мишин А.В.** Разработка системы безопасности башенных кранов с учётом частотного состава ветрового нагружения / П.А. Сорокин, К.С. Хряков // Подъёмно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы: матер. XVII Московской Междунар. межвуз. научн.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. М.: МГСУ, 2013. С. 82–84.

4. **Мишин А.В.** Спектральная оценка динамических ветровых нагрузок, действующих на башенные краны / П.А. Сорокин, К.С. Хряков // Будущее машиностроения России: сб. тр. 6-й Всерос. конф. молодых ученых и специалистов, Москва, 25–28 сентября 2013 г. М.: МГТУ им. Баумана, 2013. С. 345–347.

5. **Сорокин П.А.** Система компенсации ветровых нагрузок для обеспечения устойчивости башенных кранов от опрокидывания / П.А. Сорокин, А.В. Мишин // TTS 10/13 Technika Transportu Szynowego Koleje. Tramwaje. Metro. P. 817–825.

6. **Савицкий Г.А.** Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Стройиздат, 1972. 110 с.

7. **Симиу Э., Сканлан Р.** Воздействие ветра на здания и сооружения / пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецовой. М.: Стройиздат, 1984. 360 с.

8. **Сергиенко А.Б.** Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002. 608 с.

9. **Веселов В.Н.** Научное обоснование параметров сейсмостойкости башенных кранов: дис. ... канд. техн. наук. Астрахань. 2000. 169 с.

Уважаемые авторы и читатели журнала!

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

УДК 621.762

Е.С. Корчак, канд. техн. наук, доц., **О.А. Ковалёва**
(Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Республика Украина)

helen_korcha`k@ukr.net

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНИН ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОСТАТОВ

Рассмотрены особенности конструкции и эксплуатации станин газостатов. Особое внимание уделено изучению их напряжённо-деформированного состояния. Проанализированы напряжения, деформации и перемещения, возникающие при силовом нагружении станин различных конструкций. Даны рекомендации по проектированию станин промышленных газостатов рациональной конструкции.

Ключевые слова: газостат, станина, обмотка, ригель, стойка, стяжка.

A design and operation features of hydrostatic presses beds are considered. The special attention was paid to studying of the hydrostatic presses stress-strain state. Tension, deformations and the movements arising at power loading of various design beds are analysed. Recommendations relative to rational design designing of the beds design industrial hydrostatic presses beds are made.

Key words: hydrostatic press, bed, winding, crossbar, column, strainer.

Станины промышленных газостатов являются ответственными тяжёлонагруженными узлами [1], воспринимающими силовое воздействие со стороны контейнера и замыкающими на себе все действующие силовые нагрузки в технологическом процессе обработки порошковых материалов. В связи с этим проектирование станин рациональной конструкции, обеспечивающих надёжную и долговечную эксплуатацию, является важной задачей при создании промышленных газостатов.

Традиционно станины промышленных газостатов имеют следующие особенности конструкции [2]:

непосредственно станина состоит из двух полуцилиндрических ригелей и двух стоек, сопрягаемых между собой пазами;

многослойная ленточная обмотка охватывает наружную поверхность станины, собирая все её составные части воедино;

собранная станина помещается на тележку и фиксируется на ней.

Однако станины подобной конструкции отличаются значительной громоздкостью и металлоёмкостью, а также не гарантируют отсутствие раскрытия стыков между ригелями и стойками под действием сил нагружения. При этом для устранения указанных недостатков станину можно выполнить секционной конструкции по аналогу тяжелонагруженных станин мощных гидравлических прессов, в которых рама станины складывается из собранных в определённом порядке вертикальных и горизонтальных секций, соединённых резьбовыми стяжками. Это позволяет создать рациональную конструкцию, как с точки зрения нагрузочной способности, так и с точки зрения оптимальной металлоёмкости.

Для совершенствования и подтверждения правильности закладываемых в конструкцию станины параметров необходимо оценить её напряжённо-деформированное состояние (НДС), возникающее под действием технологического усилия со стороны контейнера. При этом в качестве базового выбран промышленный газостат со станиной ранее описанной конструкции и следующими техническими параметрами:

осевое усилие со стороны контейнера – 80 МН;

рабочее давление – 200 МПа;

максимальная рабочая температура – 2000 °С;

рабочий газ – азот;

габариты рабочего пространства – диаметр 320 мм, высота 700 мм.

НДС оценивается с помощью программного продукта Simulation Xpress для Solid Works – 2012. На рис. 1 приведены схема нагружения базовой станины (*а*) и её конечно-элементная сетка (*б*).

Для выполнения сравнительного анализа данного промышленного газостата разработана новая станина секционного типа, каждая секция которой включает вертикальные стойки и горизонтальные ригели, выполненные в виде пластин, соединённые резьбовыми стяжками с элементами фиксации (рис. 2).

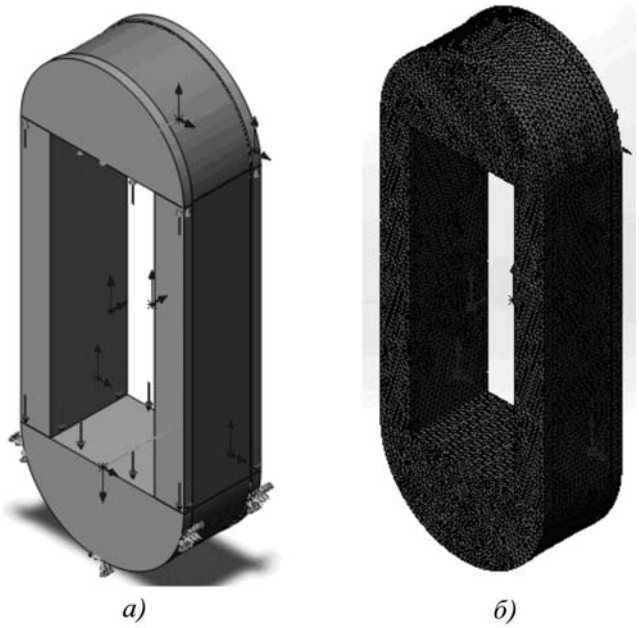


Рис. 1. Схема нагружения базовой станины (*а*) и конечно-элементная сетка (*б*)

В обоих случаях (см. рис. 1 и 2) обмотка выполнялась в виде ленты толщиной 5 мм из стали 65 Г. Однако в первом случае (см. рис. 1) обмотка имела 26 слоёв ленты, во втором (см. рис. 2) – 17 слоёв, т. е. была более облегчённой.

Результаты оценки НДС станин двух конструктивных исполнений иллюстрируются рис. 3 и 4.

При анализе НДС необходимо отметить следующее. Значениями рассматриваемых параметров, возникающими по нижнему краю ригелей, принебрегаем, так как поверхности их контакта с поверхностями элементов фиксации тележки принимаются неподвижными, как это показано на рис. 1–2, *а*. При дальнейшем анализе эти значения не будут учитываться.

Проанализируем возникающие напряжения (см. рис. 3–4, *а*).

В первом случае (см. рис. 3, *а*) максимальные напряжения порядка 200 МПа концентрируются на центральной внутренней поверхности стоек и плавно уменьшаются:

в горизонтальном направлении от внутренних поверхностей к периферии до наружной поверхности последнего слоя обмотки, достигая до 100 МПа;

вверх и вниз, незначительно падая до 160–175 МПа, а в местах контакта стоек с ригелями достигают значений около 200 МПа, что является недопустимым (учитывая особенности эксплуатации станины и газостата в целом) и ведёт к неизбежному разрушению обмотки и станины.

В ригелях напряжения увеличиваются от центральной части к периферии, достигая значений порядка 100 МПа на поверхности последнего витка обмотки. Нижний ригель менее нагружен, так как находится в фиксированном положении на раме газостата.

Во втором случае (см. рис. 4, *а*) общий уровень возникающих напряжений в центральной части станины на 25–50 МПа ниже, чем в первом. В частности на наружной поверхности последнего слоя обмотки максимальное напряжение составляет около 75 МПа, что не превышает допустимого значения с учётом минимального значения коэффициента запаса прочности, равного 3. Уровень напряжений в ригелях также существенно ниже и не превышает 75 МПа.

Анализ перемещений и возникающих деформаций (см. рис. 3–4, б, в).

Наибольшим перемещениям подвержена центральная часть станины, в частности верхний ригель. В первом случае (см. рис. 3, *б*) максимальное значение перемещений составляет порядка 3,0 мм, во втором (см. рис. 4, *б*) – несколько меньше – 2,0 мм.

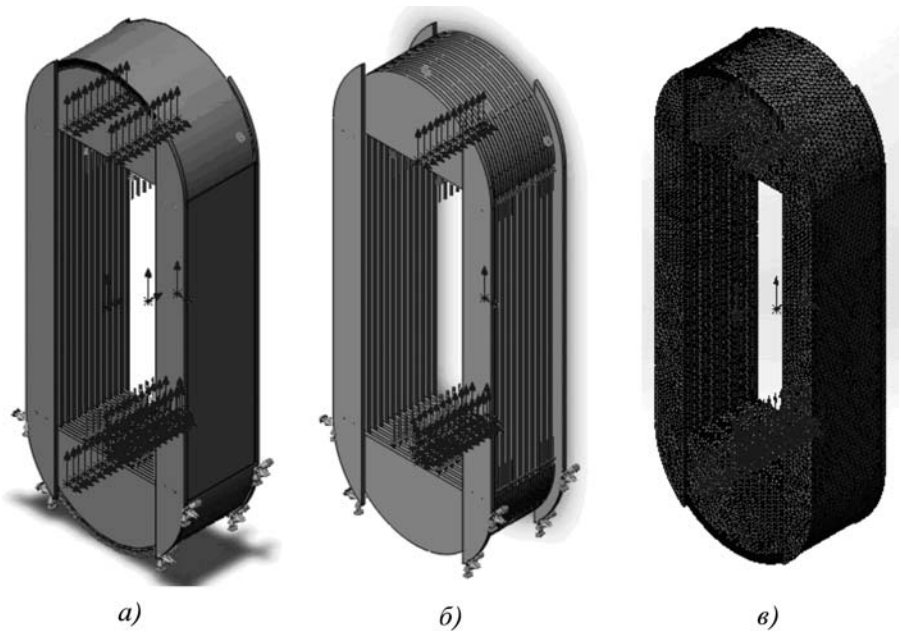


Рис. 2. Схемы нагружения новой станины с обмоткой (*а*), станины с условно снятой обмоткой (*б*) и её конечно-элементная сетка (*в*)

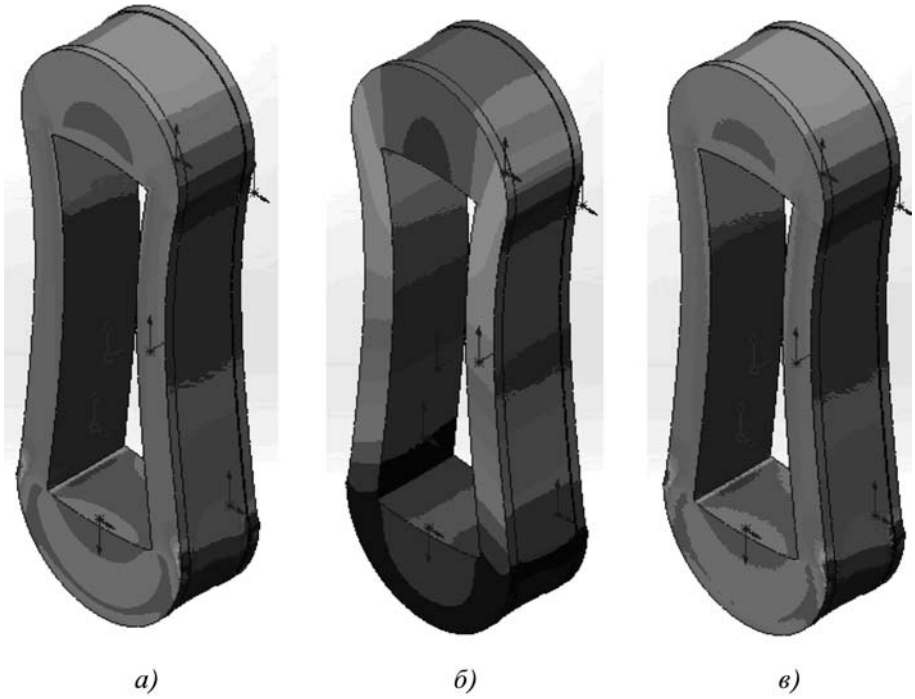


Рис. 3. Результаты анализа напряжённо-деформированного состояния станины базовой конструкции:
результирующие значения: *а* – напряжений; *б* – перемещений; *в* – деформаций

Уровень возникающих деформаций (см. рис. 3–4, *в*) также незначительно отличается. При этом в первом случае деформации (см. рис. 3, *в*) сконцентрированы на стойках, а также в местах их контакта с ригелями, и практически не изменяются по ширине и высоте, включающей все оболочки и слои обмотки, находясь в диапазоне 0,0008–0,0005. Возникающие деформации при продолжительном нагружении переходят в разряд пластических, вызывая скорое появление усталостных трещин. Во втором случае (см. рис. 4, *в*) деформации распределяются более равномерно по внутренней поверхности стоек с образованием зон концентрации в месте их контакта с верхним ригелем и имеют допустимые величины в объёме металла станины.

Таким образом, проведённый анализ НДС позволил установить следующее:

массивная станина базового газостата является причиной возникновения в её обмотке повышенных напряжений, вызывая необходимость увеличения количества слоёв обмотки;

исполнение станины газостата в виде секций пластин (стоек и ригелей) улучшает НДС, делая конструкцию более долговечной и надёжной, позволяет применить меньшее количество слоёв обмотки и уменьшить массу всей станины.

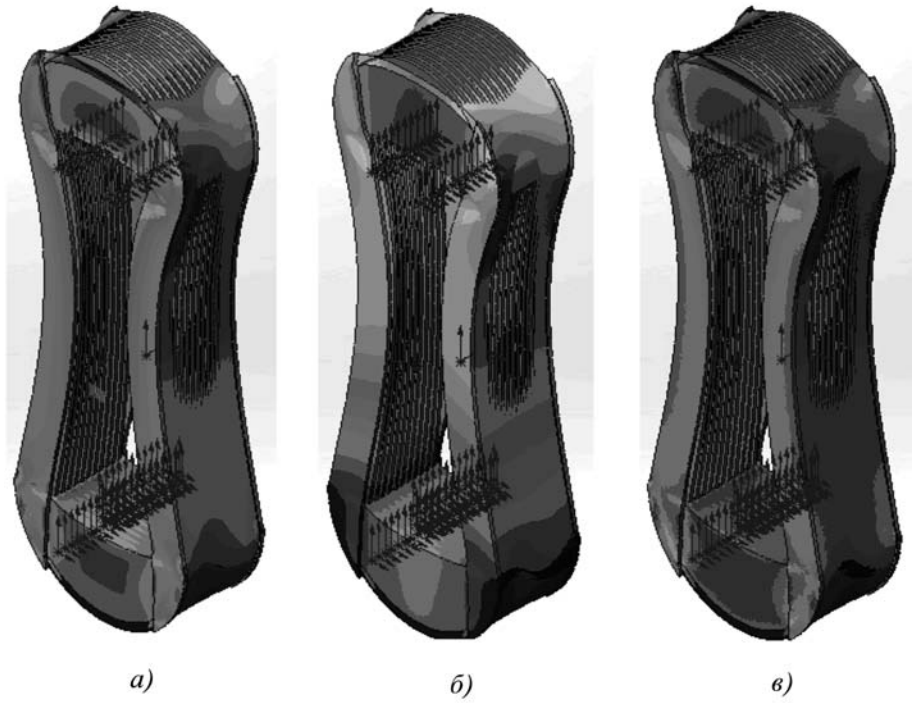


Рис. 4. Результаты анализа напряжённо-деформированного состояния станины новой секционной конструкции:
результирующие значения: *а* – напряжений; *б* – перемещений; *в* – деформаций

На базе результатов проведённых исследований разработана секционная конструкция станины для рассматриваемого базового газостата (см. рис. 5). При этом каждая секция включает в себя вертикальные стойки *1* и горизонтальные ригели *2*, выполненные в виде пластин, поверх которых наносится обмотка *3*. Секции соединяются между собой резьбовыми стяжками *4* с элементами фиксации *5*.

Данную станину целесообразно собирать на специальном стенде по кондуктору с формированием наружных фронтальных поверхностей станины стойками *1*, как это показано на рис. 5.

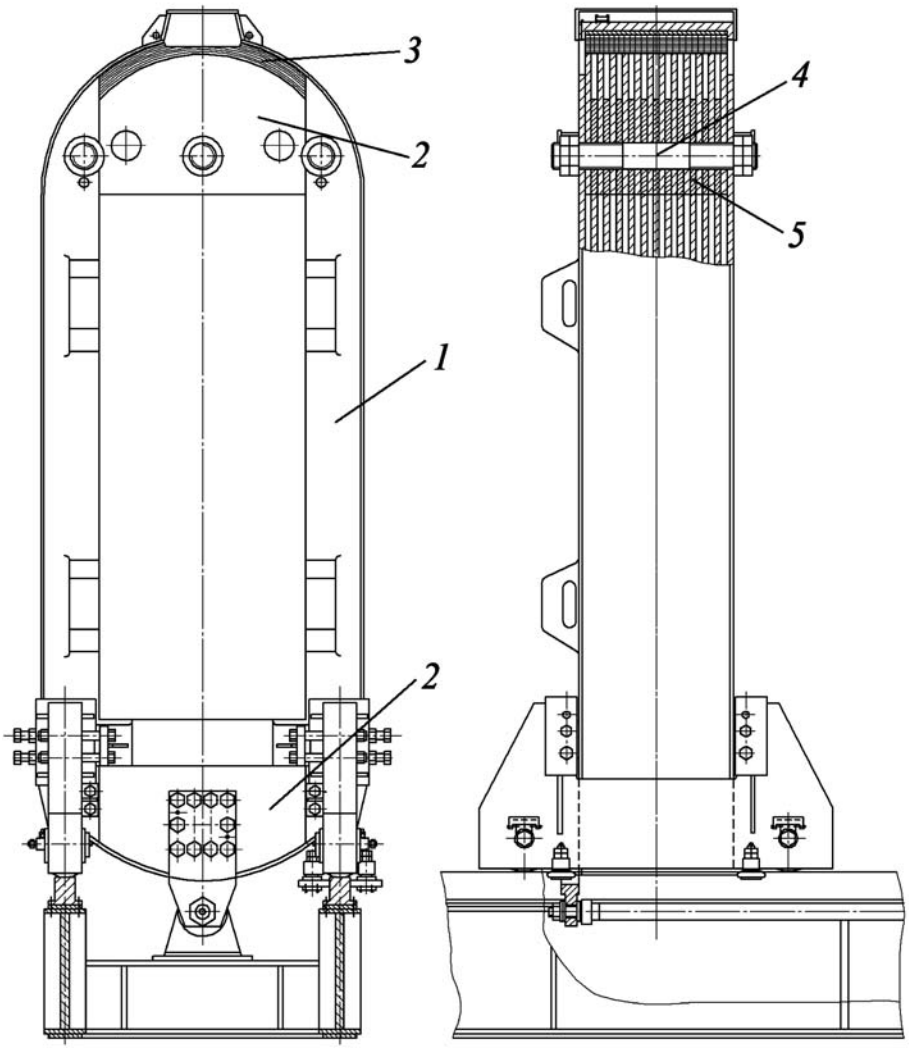


Рис. 5. Новая станина секционной конструкции для промышленного газостата

Расчётная оценка несущей способности стяжек *4* оценивается по критериям прочности и сопротивления усталости. Для стяжек данной станины выбрана упорная резьба S45 150×6 для нижних стяжек и S45 180×6 для верхних, как более нагруженных. Материал стяжек – сталь 40ХН. Усилие предварительной затяжки составляет 0,3 МН для нижних и 0,8 МН для верхних стяжек. Наименьшее значение коэффициента запаса прочности:

по максимальным напряжениям – 2,0;

по критерию усталости (т. е. по амплитуде цикла нагружения) – 2,5.

Таким образом, новая усовершенствованная конструкция станины промышленного газостата является рациональной и обеспечивает минимальную металлоёмкость с сохранением достаточных прочностных свойств.

Библиографические ссылки

1. **Кипарисов С.С., Падалко О.В.** Оборудование предприятий порошковой металлургии. М.: Машиностроение, 1988. 448 с.

2. **60 лет** научно-конструкторской и производственной деятельности ВНИИМЕТМАШ. М.: Наука, 2005. С. 451–464.

УДК 510.52

В.А. Головешкин, д-р техн. наук, проф., **А.В. Пономарёв,** канд. физ.-мат. наук, доц.
(Московский государственный университет приборостроения и информатики),
М.В. Ульянов, д-р техн. наук, проф., **Г.Н. Жукова,** канд. физ.-мат. наук, доц.
(Московский государственный университет печати им. Ивана Фёдорова)

muljanov@mail.ru

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ТРУДОЁМКОСТИ В СРЕДНЕМ АЛГОРИТМА СОРТИРОВКИ ИНДЕКСАМИ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМАХА ВАРЬИРОВАНИЯ

Рассматривается алгоритм сортировки методом индексов в аспекте его трудоёмкости в среднем. Для построения аналитической функции трудоёмкости исследуется дискретное распределение вероятностей размаха варьирования в целочисленном массиве, имеющее самостоятельный теоретический интерес. Полученное распределение является базой для исследования трудоёмкости алгоритма сортировки индексами, обладающего, в частных случаях, линейной сложностью по длине входа.

Ключевые слова: анализ алгоритмов, трудоёмкость в среднем, распределение размаха варьирования.

The sorting algorithm by a indexes method in aspect of the average labor input is considered for creation of the labor input creation of analytical function. The discrete distribution of a variation scope probabilities in the integer-valued massif, having independent theoretical interest, is investigated for creation of the labor input creation of analytical function. The received distribution is base for the labor input research of the sorting algorithm by the indexes, possessing, in special cases, linear complexity on entrance length.

Key words: algorithm analysis, an average labor input, variation scope distribution.

Введение. Получение аналитической функции трудоёмкости алгоритма в среднем — достаточно важный результат в анализе алгоритмов, на основе которого можно прогнозировать временные оценки программных реализаций [1]. Для получения функций трудоёмкости в среднем широко используется аппарат теории вероятностей, в частности метод моментов [2]. Однако достаточно часто при анализе алгоритмов класса NPR [3] для получения функции трудоёмкости или других ресурсных функций приходится, помимо основного аргумента – длины входа, вводить дополнительные аргументы (параметры), отражающие особенности задачи или данного алгоритма. В этом случае ресурсные функции уже являются функциями нескольких аргументов и получение классической трудоёмкости в среднем, как функции длины входа требует усреднения по этим дополнительным параметрам. Рассматриваемая в статье задача определения трудоёмкости в среднем для алгоритма сортировки методом индексов приводит к необходимости применения именно такого подхода к анализу.

Описание модели вычислений и базовые операции механизма реализации. В целях удобства анализа трудоёмкости компьютерных алгоритмов, запись которых приближена к языку процедурного программирования высокого уровня, необходимо ввести соответствующую модель вычислений. Эта модель вводится как некоторое расширение классической модели вычислений (машины с произвольным доступом к памяти в части набора базовых операций) и фактически является новым алгоритмическим базисом для объектного базиса этой классической модели [3].

В дальнейшем будем считать, что объектами хранения в информационном носителе модели вычислений являются битовые слова фиксированной длины β, обращение к которым производится по их адресу в символической записи. Механизм реализации, аналогичный классическому последовательному процессору с фон-неймановской архитектурой, предполагает расположение программы и данных в информационном носителе. При этом

считается, что базовыми (элементарными) операциями такого механизма реализации являются операции, коррелированные с основными операторами процедурного языка высокого уровня. Для используемой модели вычислений базовыми операциями будем считать следующие [4]:

простое присваивание: $a \leftarrow b$;

одномерная индексация: $A[i]$: (адрес $(A) + i^*$ длина слова);

арифметические операции: $\{*, /, -, +\}$;

операции сравнения: $a\{<, >, =, \leq, \geq\} b$;

логические операции: $(l_1)\{or, and, not\}(l_2)$.

Алгоритмические конструкции сводимы к введённым базовым операциям (в частности, цикл по счётчику требует три операции на один проход) [3]. Трудоёмкость алгоритма определяется при этом как число базовых операций, заданных алгоритмом на конкретном входе.

Алгоритм сортировки массива методом индексов. Этот оригинальный алгоритм [3] работает не для всех возможных массивов. Его применение изначально предполагает, что исходные числа являются целыми и положительными. Основная идея заключается в использовании дополнительного массива, количество элементов которого равно максимальному значению в исходном массиве. Далее значение каждого элемента исходного массива используется в качестве индекса элемента дополнительного массива. Этот элемент служит указателем на то, что в исходном массиве существует такое значение. Таким образом, если некоторый элемент исходного массива равен i, то i-й элемент дополнительного массива устанавливается в единицу. После прохода по исходному массиву индексы ненулевых элементов дополнительного массива образуют исходный массив, отсортированный по возрастанию. Более детальное рассмотрение этой идеи позволяет уменьшить затраты дополнительной памяти. На самом деле, если минимальный элемент исходного массива равен 1000, то, очевидно, что первые 999 элементов дополнительного массива не будут использоваться. Учитывая это, размер дополнительного массива можно уменьшить до величины размаха варьирования сортируемых чисел. Если при этом выполнить сдвиг элементов исходного массива на $\min - 1$, то реализуется возможность сортировки отрицательных чисел. Необходимость обработки повторяющихся элементов приводит к использованию значения элемента дополнительного массива как счётчика повторяющихся элементов. Предлагаемый ниже алгоритм работает с любыми допустимыми, в том числе и отрицательными, целыми числами, заданными словами битовой длины β, допуская повторение значений в элементах исходного массива.

Реализация такого алгоритма включает в себя следующие шаги:

определение максимального и минимального значений в исходном массиве A с использованием быстрого алгоритма [3, с. 219] и вычисление размаха варьирования L и сдвига d:

$$L = \max_{i=1,n} A[i] - \min_{i=1,n} A[i] + 1, \quad d = \min_{i=1,n} A[i] - 1;$$

создание и обнуление дополнительного массива необходимой длины;

заполнение элементов дополнительного массива по методу индексов с учётом сдвига;

получение отсортированного массива путем обратной сборки значений индексов ненулевых элементов дополнительного массива с учётом сдвига и кратности.

Запись этого алгоритма в принятом алгоритмическом базисе имеет вид (в столбце справа указано число заданных базовых операций):

```
Sort_Ind (A, n)
// Шаг 1: Поиск Max и Min в массиве A [1 . . n] –        быстрый алгоритм
  d ← Min – 1                                            2
  L ← Max – Min+1                                        3
// Шаг 2: Создание и обнуление дополнительного массива B [1. . L]
  For  j ← 1  to  L                                      1 + 3L
       B [ j ] ← 0                                       2L
  end  For j
// Шаг 3: Заполнение методом индексов
  For  i ← 1  to  n                                      1 + 3n
       k ← A [ i ] – d                                   3n
       B [k] ← B [k] + 1                                 4n
  end  For  i
// Шаг 4: Обратная с борка
  i ← 1                                                  1
  For  j ← 1  to  L                                      1 + 3L
       If  B [ j ] ≠ 0                                   2L
          then
       // Обработка повторяющихся элементов исходного массива
         jd ← j + d                                      2x
         k ← B [ j ]                                     2x
         For  m ← 1  to  k                               1 + 3k
              A [ i ] ← jd                               2k
              i ← i + 1                                  2k
         end  For  m
  end  For  j
Return  (A)
End.
```

Параметрический анализ трудоёмкости алгоритма. Заметим, что трудоёмкость этого алгоритма существенно зависит от размаха варьирования L, который и будет использован далее как дополнительный аргумент (параметр) функции трудоёмкости $f_A(n)$, где n — длина входа. По сути, мы рассматриваем поведение трудоёмкости алгоритма $f_A(D)$, где D – вход алгоритма (массив длины n), на $D \in D_n$ – множестве всех входов длины n, обладающих размахом варьирования L. С учётом введённой параметризации $f_A(n)$ может быть представлена на основе информации о числе базовых операций, указанных в строках записи алгоритма, в виде

$$f_A(n,\ L) = f_{A\max}(n) + f_1(n, L) + f_2(x,\ k).$$

Трудоёмкость в среднем для первого шага алгоритма – этапа поиска минимума и максимума, известна [3]:

$$f_{A\max}(n) = 5{,}5\,n + 5\ln(n) + 2{,}5.$$

Компонент $f_1(n,\ L)$ описывает трудоёмкость шагов 2, 3 и 4, не связанную с числом совпадений элементов и зависящую только от длины и размаха варьирования исходного массива. Это значение легко определяется по тексту алгоритма

$$f_1(n, L) = 1 + 5L + 1 + 10n + 1 + 1 + 5L = \\ = 10L + 10n + 4.$$

Компонент $f_2(x,\ k)$ внутри шага 4 зависит от числа совпадений элементов исходного массива. Лучший по трудоёмкости случай — это ситуация, когда все элементы одинаковы $(x = 1,\ k = n)$, тогда

$$f_2^{\vee}(n) = 2 + 2 + 1 + 7n = 7n + 5,$$

а в худшем случае все элементы различны $(x = n,\ k = 1)$ и

$$f_2^{\wedge}(n) = 2n + 2n + 1n + 7n = 12\,n.$$

В случае если есть только парные совпадения, трудоёмкость составляет 9,5 n базовых операций.

Очевидно, среднее значение для $f_2(x,\ k)$ определяется распределением совпадений в исходном массиве, которое связано со способом его формирования. В предположении, что максимальное значение элемента массива велико (например, при $\beta = 32$ бита, значение $\max A[i] = 2^{32} - 1$), а длина массива n существенно меньше максимального значения $(n << \max A[i])$, вероятность совпадений при равновероятной выборке мала. Например, при $n = 1000$, $\beta = 32$ вероятность того, что массив не содержит совпадающих элементов, равна 0,999884. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать $f_2(x, k) = f_2^{\wedge}(n) = 12\,n$. Объединяя полученные результаты, окончательно имеем:

$$f_A(n,\ L) = 5{,}5n + 5\ln(n) + 2{,}5 + \\ + 10L + 10n + 4 + 12n = \\ = 10L + 27{,}5\,n + 5\ln(n) + 6{,}5. \qquad (1)$$

Тем самым мы получили трудоёмкость в терминах метода классов входных данных [5] – разбиение D_n на подмножества входов, в каждом из которых алгоритм задает одинаковую трудоёмкость, поскольку при фиксированном значении L, в соответствии с (1), $f_A(n,\ L)$ постоянна.

Отметим, что при большом размахе варьирования объём дополнительной памяти, требуемой данным алгоритмом, может быть значительным (при $\beta = 32$ бита, $\max L = 2^{32}$). Интересно отметить также, что при значениях $L \approx c \cdot n$ данный алгоритм, за счёт дополнительных затрат памяти, сортирует массив за линейное время.

Для данного алгоритма ресурсная сложность имеет вид [3]

$$\overline{\Re}_c(A) = \langle\, \Theta(n + L),\ \Theta(n + L) \,\rangle,$$

где первый компонент отражает оценку трудоёмкости, а второй – суммарные затраты памяти, определяемые объёмом исходного и дополнительного массивов.

Дополнительные затраты памяти алгоритма составляют $\Theta(L)$ и при больших β могут быть значительны.

Постановка задачи усреднения по размаху варьирования. Содержательно представляет интерес получение аналитического вида функции трудоёмкости данного алгоритма в среднем только как функции длины входа. Мы хотим усреднить трудоёмкость (1) по размаху варьирования L (при фиксированной длине входа n). Будем рассматривать L как случайную величину на вероятностном пространстве входов алгоритма. Обозначим через $E(\cdot)$ математическое ожидание, тогда

$$\bar{f}_A(n) = E(f_A(n,\ L)) = \\ = 27{,}5\,n + 5\ln(n) + 6{,}5 + 10E(L). \qquad (2)$$

Для получения $E(L)$ построим вероятностную модель – вероятностное пространство Ω_L и распределение вероятностей для случайной величины L, а затем вычислим $E(L)$.

Ограничивая битовую длину слова в информационном носителе модели вычислений β битами,

мы получаем возможные значения чисел от 0 до максимального значения $m = 2^{\beta} - 1$ и, следовательно, диапазон возможных значений случайной величины L от 1 до $m+1$, тем самым $\Omega_L = \{1, \ldots, m+1\}$. Это, очевидно, приводит к зависимости L от m.

Пусть значения a_i, $i = \overline{1, n}$ выбираются в массив A равномерно случайно из множества $Z_m = \{z \mid z \in \overline{0, m}\}$, а случайная величина L определяется как размах варьирования в массиве A:

$$L = \max(a_i) - \min(a_i) + 1, \quad i = \overline{1, n}.$$

Отметим, что тем самым величина L зависит также и от длины входа n, т. е. $L = L(n, m)$.

В этих предположениях и обозначениях необходимо:

построить распределение $g(n, m, k)$ случайной величины $L(n, m)$

$$\forall k = \Omega_L \quad g(n, m, k) = P(L(n, m) = k),$$
$$n = \text{const}, \quad m = \text{const};$$

в соответствии с этим распределением вычислить математическое ожидание

$$E(L(n, m)) = \sum_{k=1}^{m+1} K \, P(L(n, m) = k). \qquad (3)$$

Распределение размаха варьирования. Принимая гипотезу о равномерной случайной выборке n элементов из множества Z в исходный массив A, подлежащий сортировке, мы тем самым принимаем гипотезу о том, что все возможные массивы длины на входе алгоритма равновероятны. Таким образом, исходная вероятностная модель имеет вид:

$$M = \langle \Omega, P(\cdot) \rangle, \quad \Omega = \{D \mid D \in D_n\}, \quad P(D) = \frac{1}{|\Omega|}.$$

Мощность вероятностного пространства Ω, очевидно, определяется числом способов заполнения n элементов массива A числами из множества Z, причем $|Z| = m + 1$. Поскольку выборка из Z в A производится с возвратом (повторения значений допустимы), то:

$$|\Omega\} = (m+1)^n.$$

Обозначим через $N_k(n, m)$ число массивов, имеющих размах варьирования k, тогда распределение вероятностей размаха варьирования принимает вид

$$g(n, m, k) = P(L(n, m) = k) = \frac{N_k(n, m)}{(m+1)^n}. \qquad (4)$$

Рассмотрим $N_k(n, m)$ при различных значениях k.

При $k = 1$ весь массив состоит, очевидно, из одинаковых чисел. Поскольку множество Z содержит всего $m + 1$ различных элементов, то

$$N_1(n, m) = (m+1).$$

При $k = 2$ исходный массив формируется только из двух соседних чисел z_i, $z_{i+1} = z_i + 1$, $i = \overline{0, m-1}$, причём всего существует m соседних пар. Поскольку длина массива равна n, и выборка производится с возвратом, то мы имеем всего 2^n вариантов, однако существует два варианта заполнения, не удовлетворяющие условию $k = 2$. Это вариант заполнения только числом z_i и только числом z_{i+1}, которые и необходимо исключить. Таким образом,

$$N_2(n, m) = (2^n - 2)\, m.$$

В общем случае при $k \geq 2$ массив формируется из k соседних чисел в Z_m, причём в выборке обязательно должны присутствовать как наименьшее из них (обозначим его через $z_{\min}$), так и наибольшее ($z_{\max} = z_{\min} + k - 1$).

Всего в Z_m существует $(m - k + 2)$ неупорядоченных наборов из k подряд идущих положительных целых чисел, не превосходящих m, из которых можно сформировать k^n различных массивов. Из этого множества наборов необходимо исключить массивы, размах варьирования которых будет меньше k. Если в массиве нет наименьшего ($z_{\min}$) из наших k подряд идущих чисел, то размах варьирования в таком массиве будет гарантированно меньше k, а число таких массивов будет $(k-1)^n$. Столько же существует массивов с размахом варьирования меньше k, не содержащих $z_{\max}$ (наибольшее из наших k подряд идущих чисел).

Массивов, не содержащих как $z_{\min}$, так и $z_{\max}$ ровно $^n(k-2)$, так что для подсчёта числа массивов с размахом варьирования k достаточно вычесть из общего количества различных массивов число массивов без $z_{\min}$, число массивов без $z_{\max}$ и прибавить число массивов, не содержащих как $z_{\min}$, так и $z_{\max}$ (поскольку мы их вычитаем дважды). Эти рассуждения приводят к общей формуле, справедливой при $k \geq 2$:

$$N_k(n, m) = (k^n - 2(k-1)^n + (k-2)^n)(m-k+2), \quad k \geq 2. \qquad (5)$$

Числовой пример, иллюстрирующий распределение, заданное формулой (5) при $n=5$ и $m=15$, приведён в таблице. Отметим, что уже при этих небольших значениях распределение вероятностей имеет ярко выраженную правую асимметрию.

Соответствующий график распределения случайной величины $L(5, 15)$ приведен на рисунке.

Остаётся показать, что формула (5) действительно задаёт вероятностную меру $P(\Omega)=1$. Мы докажем эквивалентное утверждение:

$$\sum_{k=1}^{m+1} N_k(n, m) = (m+1)^n. \qquad (6)$$

Поскольку $N_1(n, m)=(m+1)$, а остальные значения $N_k(n, m)$ задаются формулой (5), то формула (6) преобразуется к виду

$$\sum_{k=1}^{m+1} N_k(n, m) = (m+1) + \sum_{k=2}^{m+1}(k^n - 2(k-1)^n + (k-2)^n)(m-k+2) = (m+1) + \sum_{k=2}^{m+1}(k^n - 2(k-1)^n + (k-2)^n)(m-k+2) =$$

$$= (m+1) + \sum_{k=2}^{m+1}(k^n - 2(k-1)^n + (k-2)^n)(m+2) - \sum_{k=2}^{m+1} k^{n+1} + 2\sum_{k=2}^{m+1} k(k-1)^n - \sum_{k=2}^{m+1} k(k-2)^n =$$

$$= (m+1) + (m+2)\left(\sum_{k=0}^{m+1} k^n - 1 - 2\sum_{k=0}^{m} k^n + \sum_{k=0}^{m-1} k^n\right) - \sum_{k=0}^{m+1} k^{n+1} + 1 + 2\sum_{k=0}^{m+1} k^{n+1} + 1 + 2\sum_{k=0}^{m} k^n(k+1) - \sum_{k=0}^{m-1} k^n(k+2) =$$

$$= (m+1) - (m+2) + 1 + (m+2)((m+1)^n - m^n) - \sum_{k=0}^{m+1} k^{n+1} + 2\sum_{k=0}^{m} k^{n+1} + 2\sum_{k=0}^{m} k^n - \sum_{k=0}^{m-1} k^{n+1} - 2\sum_{k=0}^{m-1} k^n =$$

$$= (m+2)((m+1)^n - m^n) - \left(\sum_{k=0}^{m+1} k^{n+1} - 2\sum_{k=0}^{m} k^{n+1} + \sum_{k=0}^{m-1} k^{n+1}\right) + 2\left(\sum_{k=0}^{m} k^n - \sum_{k=0}^{m-1} k^n\right) =$$

$$= (m+2)(m+1)^n - (m+2)m^n - ((m+1)^{n+1} - m^{n+1}) + 2m^n = (m+1)^n(m+2-m-1) - m^n(m+2-m-2) = (m+1)^n,$$

что собственно и доказывает утверждение (6).

Распределение для случайной величины L при $n=5$ и $m=15$

k	$N_k(n, m)$	$P(L(n, m)=k)$
1	16	0,00002
2	450	0,00043
3	2520	0,00240
4	7410	0,00707
5	15 840	0,01511
6	28 050	0,02675
7	43 800	0,04177
8	62 370	0,05948
9	82 560	0,07874
10	102 690	0,09793
11	120 600	0,11501
12	133 650	0,12746
13	138 720	0,13229
14	132 210	0,12609
15	110 040	0,10494
16	67 650	0,06452
Σ	1 048 576	1

Математическое ожидание размаха варьирования и трудоёмкость в среднем алгоритма сортировки индексами. Для завершения анализа алгоритма осталось вычислить математическое ожидание случайной величины $L(n, m)$. В соответствии с (3), (4) и (5) имеем

$$E(L(n, m)) = \sum_{k=1}^{m+1} k\, P(L(n, m)=k) = \sum_{k=1}^{m+1} k\, \frac{N_k(n, m)}{(m+1)^n}.$$

Для упрощения выкладок мы опустим множитель $(m+1)^{-n}$, который учтём позже, тем самым задача сводится к вычислению суммы

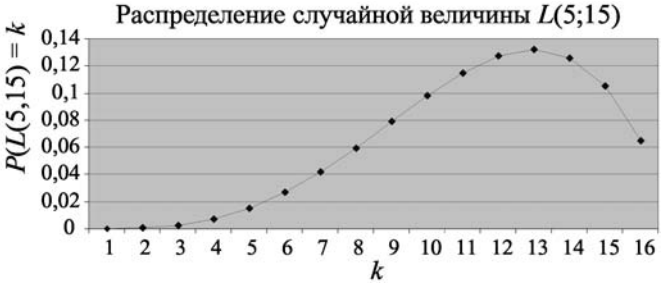


График распределения случайной величины $L(5, 15)$

$$S(n,m)=E(L(n,m))(m+1)^n=$$
$$=1(m+1)+\sum_{k=2}^{m+1}k(k^n-2(k-1)^n+(k-2)^n)(m-k+2). \quad (7)$$

На основе алгебраических преобразований формулы (7) получаем

$$S(n,m)=(m+1)+\sum_{k=2}^{m+1}k(m-k+2)(k^n-2(k-1)^n+(k-2)^n)=$$
$$=(m+1)+\sum_{k=2}^{m+1}(m+2)(k^{n+1}-2k(k-1)^n+k(k-2)^n-\sum_{k=2}^{m+1}(k^{n+2}-2k^2(k-1)^n+k^2(k-2)^n)=$$
$$=(m+1)+(m+2)\left(\sum_{k=0}^{m+1}k^{n+1}-1-2\sum_{k=0}^{m}(k+1)k^n+\sum_{k=0}^{m-1}(k+2)k^n\right)-\sum_{k=0}^{m+1}k^{n+2}+1+2\sum_{k=0}^{m}(k+1)^2k^n-\sum_{k=0}^{m-1}(k+2)^2k^n=$$
$$=(m+1)-(m+2)+1(m+2)\left(\sum_{k=0}^{m+1}k^{n+1}-2\sum_{k=0}^{m}k^{n+1}+\sum_{k=0}^{m-1}k^{n+1}-2\sum_{k=0}^{m}k^n+2\sum_{k=0}^{m-1}k^n\right)-$$
$$-\sum_{k=0}^{m+1}k^{n+2}+2\sum_{k=0}^{m}k^{n+2}-\sum_{k=0}^{m-1}k^{n+2}+4\sum_{k=0}^{m}k^{n+1}-4\sum_{k=0}^{m-1}k^{n+1}+2\sum_{k=0}^{m}k^n-4\sum_{k=0}^{m-1}k^n=$$
$$=(m+2)((m+1)^{(n+1)}+m^{(n+1)}-2m^{(n+1)}-2m^n)-((m+1)^{(n+2)}+m^{(n+2)}-2m^{(n+2)})+4m^{(n+1)}-2\sum_{k=0}^{m-1}k^n+2m^n=$$
$$=(m+1)^{(n+1)}+m^{(n+1)}(-m-2+m+4)+m^n(-2m-4+2)-2\sum_{k=0}^{m-1}k^n=(m+1)^{(n+1)}+2m^{(n+1)}+m^n(-2m-2)-2\sum_{k=0}^{m-1}k^n=$$
$$=(m+1)^{(n+1)}+m^n(2m-2m-2)-2\sum_{k=0}^{m-1}k^n=(m+1)^{(n+1)}-2m^n-2\sum_{k=0}^{m-1}k^n=(m+1)^{(n+1)}-2\sum_{k=0}^{m}k^n.$$

Учитывая множитель $(m+1)^{-n}$, окончательно получаем:

$$E(L(n,m))=\frac{S(n,m)}{(m+1)^n}=(m+1)-\frac{2}{(m+1)^n}\sum_{k=0}^{m}k^n. \quad (8)$$

Рассмотрим отношение математического ожидания размаха варьирования к максимальному возможному значению размаха, равному $(m+1)$:

$$\frac{E(L(n,m))}{m+1}=1-\frac{2}{(m+1)^{n+1}}\sum_{k=0}^{m}k^n.$$

Обозначим через $\Delta(n,m)$ отклонение от единицы этого отношения, тогда

$$\Delta(n,m)=1-\frac{E(L(n,m))}{m+1}=\frac{2}{(m+1)^{n+1}}\sum_{k=0}^{m}k^n. \quad (9)$$

Приближённо оценивая сумму в (9) соответствующим интегралом, получим

$$\Delta(n,m)=\frac{2}{(m+1)^{n+1}}\sum_{k=0}^{m}k^n\le$$
$$\le\frac{2}{(m+1)^{n+1}}\int_0^{m+1}x^n\,dx=\frac{2(m+1)^{n+1}}{(n+1)(m+1)^{n+1}}=\frac{2}{n+1}.$$

При фиксированном m последовательность положительных чисел $\Delta(n,m)$ ограничена сверху сходящейся к нулю последовательностью, поэтому

$$\lim_{n\to\infty}\Delta(n,m)=0.$$

Итак, для математического ожидания размаха варьирования выполняется неравенство:

$$1-\frac{E(L(n,m))}{m+1}\le\frac{2}{n+1},$$

поэтому

$$(m+1)\left(1-\frac{2}{n+1}\right)\le E(L(n,m))\le m+1. \quad (10)$$

На основании формулы (2) с учётом (10) получаем окончательный результат для практических вычислений:

$$\bar{f}_A(n,m)=27{,}5n+5\ln(n)+6{,}5+10(m+1)=\Theta(n+m). \quad (11)$$

Заметим, что в итоге трудоёмкость в среднем зависит не только от длины входа n, но и от m – максимального значения числа в информационном носителе модели вычислений.

Заключение. Получена аналитическая функция трудоёмкости алгоритма сортировки индексами в среднем для модели вычислений с информационным носителем, элементы которого ограничены значением $m = 2^{\beta} - 1$, т. е. имеют фиксированную битовую длину β. Математическое ожидание размаха варьирования, к сожалению, оказалось близким к максимальному возможному значению размаха, так что трудоёмкость алгоритма в среднем существенно определяется максимальным значением числа в информационном носителе модели вычислений. Ярко выраженная правая асимметрия распределения при условиях равномерной случайной выборки чисел позволяет говорить о том, что вероятность входов, приводящих к линейной трудоёмкости, пренебрежимо мала.

В связи с тем, что математическое ожидание размаха варьирования оказалось близко к наибольшему возможному значению размаха $m+1$, по-видимому, имеет смысл использовать статический дополнительный массив длины $m+1$ для любых входных массивов, размах варьирования значений в которых ограничен значением $m+1$. Исследование показывает, что индексный метод сортировки имеет смысл применять при относительно небольших значениях элементов сортируемого массива. Дело в том, что при больших m получается огромный дополнительный массив, сложность работы с которым сводит на нет достоинства метода. Решение задачи рационального выбора между сортировкой индексами и вставками приведено в [3].

Авторы надеются, что самостоятельный интерес имеет полученное в статье распределение, а также формула математического ожидания размаха варьирования значений в массиве из n элементов, формируемого равномерно случайно из целых неотрицательных чисел, ограниченных значением m.

Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования временных оценок программных реализаций алгоритма сортировки методом индексов при известных ограничениях на значения чисел, составляющих исходный массив.

Библиографические ссылки

1. **Ульянов М.В.** Метод прогнозирования временных оценок программных реализаций алгоритмов на основе функции трудоёмкости // Информационные технологии. 2004. № 5. С. 54–62.

2. **Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.** Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦНМО, 1999. 960 с.

3. **Ульянов М.В.** Ресурсно-эффективные компьютерные алгоритмы. Разработка и анализ. М.: Физматлит, 2008. 304 с.

4. **Ульянов М.В.** Теоретико-множественный подход к определению функций трудоёмкости алгоритма // Информация и безопасность. 2004. № 2. С. 53–58.

5. **Петрушин В.Н., Ульянов М.В.** Информационная чувствительность компьютерных алгоритмов. М.: Физматлит, 2010. 224 с.

Вниманию авторов!

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

УДК 656.13:658

М.А. Омаров, д-р техн. наук, проф., **А.И. Сухомлинов**
(Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина)

artemrush@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКОЙ

Рассмотрена задача моделирования программного обеспечения с использованием трёхзвенной архитектуры для автоматизированной системы управления производственной логистикой, а также задача управления однопараметрическим объектом, к которой может быть сведено управление элементом материального потока в моделируемой логистической информационной системе.

Ключевые слова: производственная логистика, материальный поток, автоматизированная система управления, объект управления, моделирование программного обеспечения.

The software modeling task by using of three-level architecture for the automatic control system of the production logistics and also the task of the one-parametrical object management to which can be reduced management of an material stream element in the modeled logistic information system are considered.

Key words: production logistics, material stream, automatic control system, object of management, software modeling.

Введение. В последнее время в странах СНГ логистический подход к организации бизнеса стал общеупотребительным, что вызвано, в первую очередь, вовлечением бизнес-структур СНГ в глобальную экономику, где высокий уровень конкуренции диктует необходимость использования самых эффективных способов организации бизнеса. В настоящее время термин *логистика* имеет узкое и широкое трактование. При узком трактовании логистику рассматривают как теорию и практику управления материальными потоками. Такой подход основывается на истории возникновения логистики. Ещё в античные времена этим термином стали называть обобщение практического опыта организации снабжения войск. Широкое трактование логистики, используемое в современной науке с 70-х гг. прошлого века, рассматривает логистику как теорию и практику планирования, организации, управления и контроля совокупности материальных, трудовых, финансовых, информационных и других потоков. Рассматривая логистику, мы ограничимся материальным потоком и сопровождающим его информационным потоком.

Материальные потоки классифицируют по нескольким свойствам. В первую очередь, это деление потоков на внешние и внутренние, входные и выходные, непрерывные и дискретные, а также управляемые и неуправляемые. В некоторых работах также исследуют такие свойства материальных потоков, как детерминированность, стабильность, равномерность и пр.

Производственная логистика является неотъемлемой частью производственного процесса предприятия. Производственную логистику можно рассматривать как подсистему предприятия, функциональным назначением которой является:

принятие входящего материального потока,

эффективная организация внутрипроизводственного материального потока,

формирование внешнего материального потока.

Иначе говоря, производственная логистика концентрирует своё внимание преимущественно на внутренних потоках предприятия.

Задача управления однопараметрическим объектом. Простейшая система управления объектом S должна включать в себя объект управления O и управляющую подсистему C:

$$S = \langle O, C \rangle , \qquad (1)$$

которая функционирует в некотором окружении E (в так называемой внешней среде). Управляющая подсистема C должна иметь средства измерения параметров объекта управления. Ограничимся наличием только одного наблюдаемого параметра p у объекта управления O. Значение параметра p изменяется с течением времени как вследствие процессов, происходящих внутри объекта управления, так и под воздействием окружающей среды. Поэтому параметр p можно рассматривать как функцию от времени t, где время рассматривается как независимая непрерывная характеристика. Если

при этом подсистема управления является автоматической или имеет возможность работать в полностью автоматическом режиме, то текущее значение параметра $p(t)$ должно приводить к выработке управляющей подсистемой C через некоторый промежуток времени Δt управляющего воздействия c на объект O. Промежуток времени Δt называется временем реакции подсистемы управления. Время реакции по своей природе не может быть нулевым, но в некоторых случаях им можно пренебречь. Управляющее воздействие, производимое подсистемой управления, определяется той моделью M объекта, которая в неё заложена текущими значениями наблюдаемого параметра p, состоянием окружающей среды E, а также, если подсистема управления C обладает памятью, историей поведения объекта и историей воздействий на объект, т. е. хронологическими совокупностями результатов измерения объекта и воздействий на объект. Состояние памяти подсистемы управления C будем обозначать как $m(t)$. Таким образом, управляющее воздействие целесообразно рассматривать как функцию трёх аргументов, каждый из которых является функцией, зависимой от времени:

$$c(t) = c(p(t),\ E(t),\ m(t)), \qquad (2)$$

где $E(t)$ – состояние окружающей среды.

Модель объекта M должна включать в себя возможность оценки состояния объекта в заданный момент времени. Зададим эту возможность в виде функции $\xi(t)$, которая обладает следующим свойством: из соотношения $\xi(t_1) > \xi(t_2)$ следует, что состояние объекта управления в момент времени t_1 лучше, чем в момент времени t_2. Пусть в какой-то момент времени t_0 происходит измерение параметра p, что вызывает выработку управляющего воздействия $c(t_0)$ на объект управления O. Учитывая наличие времени реакции у подсистемы C, объект управления O получит управляющее воздействие $c(t_0)$ только в момент времени $t_0 + \Delta t$. Задачей подсистемы C является выработка такого воздействия, которое переводит управляемый объект в состояние с максимально возможной для данного момента времени оценкой $\xi^{\max}(t)$. Тогда следует, что в момент получения управляющего воздействия $c(t_0)$ объект O оказывается в состоянии с оценкой $\xi^{fact}(t_0 + \Delta t)$ (фактическая оценка), которая не превосходит максимально возможную оценку для этого момента времени

$$\xi^{fact}(t_0 + \Delta t) \le \xi^{\max}(t_0 + \Delta t), \qquad (3)$$

так как к моменту получения управляющего воздействия $c(t_0)$ могли измениться как значение наблюдаемого параметра p, так и состояние окружающей среды E. Соотношение (3) позволяет ввести критерий качества управления объектом k в момент времени $t_0 + \Delta t$:

$$k(t_0 + \Delta t) = \frac{\xi^{fact}(t_0 + \Delta t)}{\xi^{\max}(t_0 + \Delta t)}. \qquad (4)$$

Этот критерий обладает следующим свойством: $k \le 1$. Введём также оценку погрешности управления Δc в момент времени $t_0 + \Delta t$:

$$\Delta c\,(t_0 + \Delta t) = c^{opt}(t_0 + \Delta t) - c^{fact}(t_0 + \Delta t),$$

где $c^{opt}(t_0 + \Delta t)$ – оптимальное по значению воздействие на объект управления O, которое должно переводить объект в состояние с оценкой $\xi^{\max}(t_0 + \Delta t)$; $c^{fact}(t_0 + \Delta t)$ – фактически полученное воздействие объектом управления O, которое перевело объект управления O в состояние с оценкой $\xi^{fact}(t_0 + \Delta t)$.

Рассмотрим поведение оценки погрешности управления Δc от времени реакции Δt. Предположим, что управляющее воздействие (2), является аналитической функцией, т. е. обладает свойствами непрерывности и неразрывности. Учитывая, что $c^{fact}(t_0 + \Delta t) = c^{opt}(t_0)$ (фактическое воздействие в момент $t_0 + \Delta t$ является оптимальным для момента t_0), получим:

$$\lim_{\Delta t \to 0} \Delta c(t_0 + \Delta t) = \lim_{\Delta t \to 0} (c^{opt}(t_0 + \Delta t) - c^{opt}(t_0)) \to 0.$$

Это означает, что чем меньше время реакции Δt подсистемы управления, тем меньше погрешность управления Δc, и, следовательно, фактическое воздействие будет ближе к оптимальному, что, в свою очередь, приводит к улучшению оценки состояния объекта управления O, и оценка фактического состояния приближается к максимально возможной:

$$\xi^{fact}(t_0 + \Delta t) \xrightarrow{\Delta t \to 0} \xi^{\max}(t_0 + \Delta t).$$

Из этого следует, что значение критерия качества управления (4) при уменьшении времени реакции Δt будет улучшаться:

$$\lim_{\Delta t \to 0} k(t_0 + \Delta t) \to 1. \qquad (5)$$

Однопараметрическая логистическая задача. Одним из авторов была предложена мультимножественная модель материального потока [1], основанная на аппарате теории мультимножеств [2]. В этой модели была введена функция локализации $L(t)$, которая в заданный момент времени для элемента материального потока позволяла получить его координаты в заданной метрике (в работе [1] были

рассмотрены одно-, дву- и трёхмерные пространства). В качестве объекта управления будем рассматривать один из элементов материального потока в рамках мультимножественной модели [1], а в качестве подсистемы управления C (1) – логистическую информационную систему, которая является частью системы управления предприятием. Пусть модель объекта M содержит график перемещения объекта управления в виде плановой функции локализации $L^{plan}(t)$, заданной аналитически. Оценку состояния объекта управления $\xi(t)$ зададим в виде

$$\xi(t) = -\rho(L^{plan}(t),\ L^{fact}(t)),$$

где $\rho(L^{plan}(t),\ L^{fact}(t))$ – расстояние в заданной метрике между плановой и фактической локализацией объекта управления.

В качестве метрики в практической деятельности чаще всего используют расстояние в одно- или двумерном эвклидовом пространстве. Управляющее воздействие в данном случае – это увеличение либо уменьшение скорости перемещения объекта управления. Рассмотренная однопараметрическая логистическая задача позволяет перейти от простейшей системы управления (1) к более сложной, где в качестве объекта управления выступает внутрипроизводственный материальный поток.

Проектирование автоматизированной системы управления производственной логистикой. В настоящее время используется несколько подходов к организации логистической системы уровня предприятия. К наиболее распространенным логистическим системам предприятий можно отнести системы следующих типов [3]:

система поставки "точно в срок" (производится и перевозится только то, что необходимо в данный момент времени);

система "канбан", обеспечивающая все производственные участки именно тем количеством сырья и материалов, которые действительно необходимы для выпуска запланированного количества продукции;

система планируемой доставки;

система управления распределением;

система планирования и контроля входного, внутреннего и выходного материального потока;

система быстрого реагирования.

При проектировании автоматизированной системы управления производственной логистикой необходимо определить, какая часть логистической системы подлежит автоматизации, а какая часть останется в ручном режиме. Это соотношение определяется не только пожеланиями владельца проблемы, но также и самой возможностью программной реализации отдельных функциональных задач логистической системы. На данный момент, несмотря на значительные достижения в области искусственного интеллекта, человеческий фактор продолжает присутствовать в логистической системе. Поэтому автоматизированная система управления производственной логистикой (логистическая информационная система), будет включать в себя модули, которые работают в автоматическом режиме (например, сбор и ввод данных с различных датчиков), а также модули, которые позволяют лишь автоматизировать некоторые функции логистической системы, такие, например, как планирование закупок или мотивация персонала.

Рассмотрим современные технические возможности автоматизации логистической системы, которые являются общедоступными. В первую очередь – это технологии локализации объекта, такие как GPS. Во-вторых, это одно- и двумерные штрихкоды, использование которых стало повсеместным из-за их дешевизны, надёжности и простоты внедрения. Кроме этого, стали общедоступными системы распознавания образов, в частности, такие как определение автомобильных номеров, номеров вагонов и пр. И особенно следует отметить бурное внедрение мобильных устройств – планшетов и смартфонов, которые совместно с технологией передачи данных WiFi позволяют создавать программное обеспечение с новыми функциональными возможностями.

На данный момент наиболее эффективной архитектурой для рассматриваемых систем считается трёхзвенная архитектура: клиентское приложение – сервер приложения – база данных. Проанализируем каждое из перечисленных звеньев.

База данных используется для хранения как оперативной информации, так и архивных данных. Если 10–15 лет назад выбор систем управления базами данных (СУБД) корпоративного уровня ограничивался, фактически, тремя продуктами, а именно, такими СУБД, как DB2 фирмы IBM (около 40 % мирового рынка), Oracle одноимённой фирмы (около 40 %) и SQL Server фирмы Microsoft (около 15 %), то теперь к таким СУБД принадлежат MySQL, PostgreSQL, а на территории СНГ ещё и Firebird (бесплатный клон СУБД Interbase). Все перечисленные СУБД обладают высокой совместимостью благодаря поддержке стандартов языка SQL. Существуют программные продукты, позволяющие мигрировать с одной СУБД на другую. Между собой СУБД различаются по таким критериям, как поддерживаемые типы данных, встроенные функции и пакеты, поддерживаемые языки разработки хранимых процедур, сложность администрирования, скорость обработки запросов и пр. При реализации информационной системы выбор СУБД определяется, в первую очередь, личными предпочтениями разработчиков, во вторых, необходимостью соблюдать лицензионные

соглашения, и в третьих, оценкой затрат на миграцию под выбранную СУБД, так как в современных условиях разработки "с нуля" практические не ведутся, а обычно приходится модернизировать уже существующее программное обеспечение.

Сервер приложения или программное обеспечение, реализующее бизнес-логику информационной системы, взаимодействует с клиентскими приложениями, а также взаимодействует с базой данных. Для создания такого программного обеспечения используются алгоритмические языки, поддерживающие парадигму объектно-ориентированного программирования. Наиболее популярными являются Java, C++, C# и Delphi. За каждым из этих языков стоят огромные библиотеки поддержки, сообщества разработчиков, и самое главное, крупнейшие софтверные корпорации. Выбор языка разработки осуществляется в связке с выбором платформы, на которой будет функционировать сервер приложения. В наших условиях, на уровне производственного предприятия, это выбор между 64-битными платформами Windows и Linux. Эти платформы позволяют полностью использовать современные аппаратные средства. Язык Java является кросс-платформенным, благодаря чему Java-приложение без перекомпиляции может функционировать на обеих упомянутых платформах, но из-за необходимости использовать виртуальную Java-машину эти приложения уступают в производительности. Язык C# тоже является кросс-платформенным благодаря использованию технологии .NET. Но в реальности технология .NET хорошо себя зарекомендовала только на платформе Windows. Языки C++ и Delphi ориентированны на Windows-платформу. Кроме указанных Windows- и Linux-платформ возможна разработка сервера приложений на основе Web-технологии с использованием Web-сервера, например Apache, который может функционировать под различными операционными системами. В этом случае сервер приложений разрабатывается с использованием языков Web-программирования, таких как PHP, Perl, Python и др.

Клиентские приложения, входящие в информационную систему, можно разделить на десктопные (т.е. функционирующие на настольных компьютерах и ноутбуках) и мобильные (функционирующие на планшетах и смартфонах). Оба вида этих приложений могут быть реализованы на основе Web-технологий. В этом случае в качестве клиента используется Web-браузер, который визуализирует html-текст, сформированный серверной частью. Значительно большими возможностями обладают десктопные клиентские приложения, разработанные на уже упомянутых выше алгоритмических языках высокого уровня Java, C++, C# и Delphi. В отличие от Web-браузера, десктопные клиентские приложения, разработанные на языках Java, C++, C# или Delphi, имеют доступ ко всем ресурсам, которые предоставляет операционная система. Это позволяет создавать программы с большими функциональными возможностями. Что касается мобильных клиентских приложений, то на данный момент рынок операционных систем для мобильных устройств соотносится с тремя операционными системами: Android, iOS и Windows. Сосуществуют они в острой конкурентной борьбе. Две трети всего рынка мобильных устройств используют операционную систему Android, хотя по доле получаемой прибыли iOS превосходит Android. Операционная система Windows на данный момент потихоньку набирает обороты в основном за счёт уменьшения доли iOS. На данный момент нет единого инструмента для создания "нативных" приложений для указанных операционных систем мобильных устройств. Только фирма Embarcadero (США), которая является владельцем Delphi, анонсировала намерение включить в Delphi поддержку платформы Android (на данный момент последняя версия этого инструмента, Delphi XE4, поддерживает мобильные платформы iOS и Windows). Поэтому для Android-устройств необходимо использовать язык Java (Java 2 Micro Edition), для платформы iOS – языки Objective C или Delphi.

Проведённый анализ инструментальных средств, необходимых для реализации логистической информационной системы с трёхзвенной архитектурой, показывает, что создание такого программного обеспечения является сложной задачей, для выполнения которой потребуются высококвалифицированные специалисты, владеющие различными языками программирования и превосходно знающие современные программные технологии.

Обобщение опыта программирования за несколько десятилетий привело к появлению такой дисциплины, как программная инженерия, которая утверждает, что ошибки, совершённые на этапе проектирования, обходятся в десятки раз дороже, чем ошибки, совершённые на этапе программирования. Поэтому этап проектирования логистической информационной системы необходимо выполнять особенно тщательно. На этом этапе надо учитывать не только бизнес-логику логистической системы предприятия, но и такие аспекты, как сохранность уже накопленной информации, разработку "дружественных" интерфейсов для каждого из пользователей системы, устойчивость к неквалифицированному использованию

системы, необходимость обучения персонала (конечных пользователей), масштабируемость системы, санкционирование доступа, профилактические мероприятия для минимизации последствий от технических сбоев и многие другие аспекты. В качестве общепринятого стандарта при проектировании программного обеспечения утвердился язык UML [4], который позволяет задокументировать проект в виде набора диаграмм.

Заключение. В задаче управления однопараметрическим объектом был проведён анализ простейшей системы управления (1). В ходе анализа было введено понятие *оценка состояния объекта управления*, на основе чего был сформулирован критерий качества управления (4). Для случая, когда управляющее воздействие является аналитической функцией, показано, что качество управления объектом (4) улучшается при сокращении времени реакции подсистемы управления (5). Затем была рассмотрена мультимножественная модель материального потока [1] и было показано, что управление элементом материального потока в рамках этой модели сводится к задаче управления однопараметрическим объектом.

В рамках моделирования программного обеспечения автоматизированной системы управления производственной логистикой был проведён анализ процесса проектирования логистической информационной системы на основе трёхзвенной архитектуры программного обеспечения.

Дальнейшее развитие исследований авторы видят в моделировании устойчивости дизайна логистической информационной системы к изменению функциональных требований при масштабировании системы.

Библиографические ссылки

1. **Сухомлінов А.І.** Моделювання матеріального потоку у виробничій логістиці. Харківській університет повітряних сил ім. Кожедуба. Збірник наукових праць "Системи обробки інформації", 2013. Випуск 2(109). С. 294–298.

2. **Петровский А.Б.** Пространства множеств и мультимножеств. М.: Едиториал УРСС, 2003. 248 с.

3. **Толуев Ю.И., Планковский С.И.** Моделирование и симуляция логистических систем. Киев: Миллениум, 2009. 85 с.

4. **Фаулер М.** Основы UML. 3-е изд. СПб: Символ-Плюс, 2004. 192 с.

УДК 681.513

К.А. Неусыпин, д-р техн. наук, проф., **М.А. Кочешков**
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

МЕТОД РЕГЕНЕРАЦИИ НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

На длительных интервалах функционирования погрешности навигационного комплекса достигают неприемлемых величин и их необходимо компенсировать. Выявление неприемлемого уровня погрешностей осуществлено системой контроля летательного аппарата с использованием алгоритма самоорганизации. Восстановление работоспособности навигационного комплекса проведено с помощью алгоритма управления в структуре инерциальной навигационной системы или прогноза и последующей компенсацией погрешностей в выходном сигнале навигационного комплекса.

Ключевые слова: навигационный комплекс, алгоритм коррекции, метод самоорганизации.

The navigation complex errors reach unacceptable sizes at functioning long intervals and they need to be compensated. The unacceptable errors level identification is carried out by the aircraft monitoring system with use of algorithm of self-organization. Restoration of the navigation complex efficiency is carried out by means of the management algorithm in the inertial navigation system structure or the forecast and the subsequent errors compensation in an output signal of the navigation complex.

Key words: navigation complex, algorithm of correction, self-organization method.

Введение. Для повышения точности навигационной информации используется объединение различных измерительных систем летательного аппарата (ЛА) в навигационный комплекс (НК). Как правило, базовой системой НК является инерциальная навигационная система (ИНС).

ИНС имеют методические и инструментальные погрешности. Основным недостатком ИНС является нарастание этих погрешностей с течением времени. Для повышения точности ИНС обычно используются датчики внешней навигационной информации. Коррекция ИНС ЛА часто осуществляется с помощью доплеровского измерителя скорости и угла сноса (ДИСС), системы GPS и др. Однако сигналы внешних по отношению к ИНС измерительных систем также содержат ошибки, поэтому их сигналы и сигналы ИНС подвергают совместной обработке в БЦВМ ЛА с помощью алгоритмов оценивания, управления, прогнозирования и комплексирования [1, 2].

Наиболее распространённая структура НК включает ИНС, GPS и алгоритм оценивания. После обработки разницы измерений ИНС и GPS с помощью алгоритма оценивания получаем оценку вектора состояния, т.е. оценку всех наблюдаемых ошибок ИНС. Далее оценка ошибок алгебраически вычитается из выходного сигнала ИНС, состоящего из достоверной информации о скорости, местоположении ЛА и ошибок ИНС. Тем самым компенсируются в выходном сигнале ошибки ИНС в определении навигационных параметров.

При функционировании ИНС на длительных интервалах времени погрешности могут достигать недопустимо больших величин, поэтому коррекция осуществляется с помощью алгоритма управления для компенсации ошибок в структуре ИНС, уменьшая тем самым амплитуду колебаний ошибок и улучшая качество переходного процесса.

При исчезновении сигнала от дополнительного датчика информации прогнозируются погрешности ИНС с последующей компенсацией в выходном сигнале.

Состояние НК определяется с помощью системы контроля ЛА. Прогноз погрешностей измерительных систем ЛА обычно проводится априорными моделями, которые с течением времени становятся неадекватными исследуемому процессу. Поэтому модель погрешностей измерительных систем целесообразно строить в процессе полёта.

С течением времени из-за действующих на НК возмущающих факторов его структура теряет априорно определённую оптимальность, часто становится неадекватной измеряемым процессам и её необходимо восстанавливать.

В данной статье приведены разработка способа регенерации структуры и выбор конфигурации алгоритмического обеспечения НК, позволяющих повысить точность навигационной информации на длительных интервалах функционирования в корректируемом режиме, а также в условиях временного отсутствия сигналов от внешних измерительных систем ЛА.

Коррекция инерциальных навигационных систем. Гиростабилизированная платформа (ГСП) отклоняется от заданного положения вследствие дрейфа гироскопов, смещения нуля и дрейфа акселерометров, погрешностей первого интегратора. Значительное увеличение углов отклонения ГСП приводит к дрейфу платформы, обусловленному моментами остаточной несбалансированности вокруг осей прецессии гироскопов и анизоупругостью ГСП и гироскопов при колебании и вибрации основания. Ошибки автономной ИНС возрастают с течением времени, поэтому для получения достоверной информации необходимо компенсировать отклонения ГСП от заданного положения.

Ошибки автономной ИНС в определении пройденного пути представляют собой "расходящиеся" колебания с периодом Шуллера. Привлекая внешнюю информацию о скорости перемещения несущего объекта, возможно демпфировать эти колебания, сохраняя инвариантность. Наиболее распространённым датчиком скоростной информации является ДИСС. Вычитая информацию о скорости с ДИСС из скоростного сигнала, снимаемого с ИНС, получают ошибки определения скорости несущего объекта. Подачей этого сигнала на вход первого интегратора ИНС достигают демпфирования ошибок системы. Если же сигнал разности измерения скоростей ИНС и ДИСС подается одновременно и на выход первого интегратора, то демпфирование получается с изменением периода собственных колебаний, т. е. период собственных колебаний системы можно уменьшить.

Полностью исключить погрешности с помощью демпфирования не представляется возможным, так как они нарастают с течением времени.

Точность корректируемых ИНС в значительной степени зависит от погрешностей внешнего источника информации и ошибок используемого алгоритма. В частности, от адекватности математической модели погрешностей ИНС.

При функционировании ИНС на длительных интервалах времени (более 1 ч.) без коррекции от спутников или стационарных станций углы отклонения ГСП нарастают. Следствием этого является неадекватность математической модели реальному процессу изменения погрешностей ИНС. В этом случае применяют коррекцию ИНС в структуре системы с помощью алгоритмов управления.

Рассмотрим компенсацию ошибок ИНС в структуре системы. Схема коррекции в структуре ИНС представлена на рис. 1.

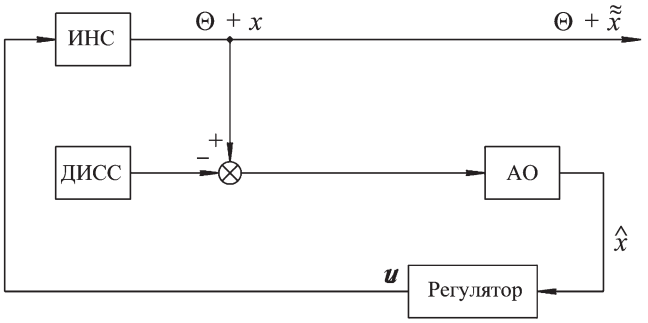


Рис. 1. Схема подключения к инерциальной навигационной системе (ИНС) алгоритма оценивания и регулятора:
Θ – истинная навигационная информация; АО – алгоритм оценивания; x – вектор состояния, включающий ошибки ИНС; $\hat{x}$ – оценка вектора состояния; u – вектор управления

Уравнение ошибок ИНС имеет вид:

$$x_k = A x_{k-1} + u_{k-1} + \omega_{k-1}, \quad (1)$$

где x_k – вектор состояния; A – матрица системы; u_{k-1} – вектор управления; ω_{k-1} – вектор входного возмущения.

Вектор управления имеет вид:

$$u_{k-1} = -K_{k-1}\,\hat{x}_{k-1}, \quad (2)$$

где $\hat{x}_{k-1}$ – оценка вектора состояния; K_{k-1} – матрица регулятора.

Однако в структуре ИНС имеется лишь две точки приложения управляющих воздействий, а именно: вход первого интегратора и вход датчика момента. Поэтому необходимо разработать метод управления ИНС для случая, когда управлению подлежит только часть вектора состояния.

Представим вектор состояния в виде суммы векторов z_k и y_k выделяя в векторе z_k только компоненты, которыми возможно управлять, а в векторе y_k – все оставшиеся компоненты вектора состояния. Тогда уравнение объекта (1) будет иметь вид:

$$x_k = \Phi z_{k-1} + G y_{k-1} + \omega_{k-1} + u_{k-1}, \quad (3)$$

где Ф – матрица модели; G – матрица управления.

Обозначим

$$\omega_{k-1} + G y_{k-1} = f_{k-1}. \quad (4)$$

Пусть оцениваются как z_{k-1}, так и f_{k-1}. Определим вектор управления в виде

$$u_{k-1} = -(K_{k-1}\,\hat{z}_{k-1} + \hat{f}_{k-1}). \quad (5)$$

Использование в регуляторе оценки вектора состояния предполагает предварительную оценку его с помощью алгоритма оценивания.

Оптимальное управление определяется нахождением такой матрицы регулятора, при которой функционал

$$J = M[x_k^T\ x_k] \quad (6)$$

принимает минимальное значение.

Оптимальное значение матрицы регулятора имеет следующий вид [2]:

$$K_{k-1} = \Phi. \quad (7)$$

Представленный метод управления позволяет компенсировать управляемые ошибки системы, но с условием, что оцениваются все компоненты вектора состояния. Этому условию удовлетворяют ошибки ИНС по скорости, углы отклонения ГСП от плоскости горизонта и дрейфы гироскопов. Однако компенсация дрейфов ГСП с помощью разработанного алгоритма не осуществляется, так как точная априорная информация о корреляционной матрице дрейфа гироскопов отсутствует.

Таким образом, с помощью представленного регулятора компенсируются ошибки ИНС по скорости и углы отклонения от плоскости горизонта.

Для повышения точности функционирования ИНС в автономном режиме необходимо построить математическую модель ошибок ИНС в предшествующем корректируемом режиме, осуществить прогноз ошибок и использовать его в выходной информации для компенсации этих ошибок.

В практических приложениях часто встречаются случаи, когда внешние измерения недоступны для использования и ИНС функционирует в автономном режиме. Такие ситуации возникают тогда, когда невозможно использовать внешние системы из-за возникновения пассивных или активных помех, функционирования ЛА в зонах, где внешний сигнал недоступен. Например, при использовании в качестве внешней измерительной системы GPS могут возникать помехи, связанные с прохождением радиосигнала сквозь атмосферу, постановкой активных помех и др.

Для прогнозирования погрешностей ИНС необходимо иметь математическую модель, в качестве которой может быть использована априорная модель погрешностей ИНС. Если априорная модель погрешностей достаточно точно отражает процесс изменения погрешностей, то можно использовать её для краткосрочного прогноза. При изменениях режима работы измерительной системы или интенсивном маневрировании ЛА существенно меняется характер погрешностей. В этом случае необходимо идентифицировать отдельные

коэффициенты модели, а часто и всю её структуру. Известные методы идентификации [3, 4], позволяющие идентифицировать структуру и параметры модели, достаточно сложны в реализации на борту ЛА и требуют значительных временных интервалов для получения прогнозирующей модели.

Подход самоорганизации позволяет минимизировать априорную информацию об объекте исследования, а также усложнять модели без учёта ряда существенных факторов. В основе подхода самоорганизации лежит допущение о том, что вся информация о системе содержится в измерительной выборке и критериях селекции модели.

При самоорганизации прогнозирующих моделей используется случайный генератор моделей-претендентов. С помощью ансамбля критериев проводится селекция математических моделей. В дальнейшем происходит постепенное усложнение модели с оценкой её посредством ансамбля критериев селекции.

При функционировании ИНС в стохастических условиях объём априорной информации, как правило, минимален. Поэтому целесообразно использовать для экстраполяции подход самоорганизации, в частности алгоритм самоорганизации с резервированием трендов [5], позволяющий осуществлять непрерывную коррекцию ИНС в выходном сигнале или использовать зарезервированный тренд в алгоритме управления для коррекции в структуре ИНС (рис. 2).

В представленном алгоритме самоорганизации в процессе селекции модели отбираются и резервируются линейные тренды.

Модели процесса контроля. Задача контроля – установление соответствия состояния объекта предъявляемым требованиям с последующим принятием решения или выдачей управляющих воздействий.

Объектом контроля является НК. В практических приложениях применяются различные методы контроля НК. Методы повышения достоверности контроля, предполагающие использование избыточности аппаратуры, отличаются усложнением контрольной аппаратуры, повышением её стоимости, габаритов, снижением надёжности. Методы резервирования существенно усложняют контрольно-измерительную аппаратуру, а методы повышения достоверности систем контроля, основанные на использовании различных алгоритмов обработки информации, являются наиболее перспективными.

Алгоритмические методы позволяют повысить точность и надёжность систем, построенных на элементах современного уровня точности, не требуют больших материальных затрат. Обычно в рамках алгоритмического подхода используются оптимальные алгоритмы оценивания [1, 2, 4].

С помощью алгоритма оценивания определяются оптимальные оценки контролируемых параметров, которые затем сравниваются с допусками, и принимается решение по исследуемому параметру.

В рамках алгоритмического подхода применяются методы, основанные на применении алгоритмов диагностики, помехозащиты, восстановления и прогнозирования.

Диагностическим контролем называется контроль, который проводится для нахождения отказавшего элемента, датчика или системы НК. Точность диагностики зависит от достоверности априорной статистической информации (матрицы неисправностей), а также от используемой функциональной модели. Метод сложен в реализации и отличается низкой точностью.

Восстановлением называется процесс установления состояния НК и последующее воздействие на него на основе полученной информации (восстановление) для перевода НК в требуемое состояние. Восстановление предусматривает использование контрольно-измерительной аппаратуры, которая имеет ограниченную точность, надёжность и быстродействие, что приводит к ошибкам. Известные способы восстановления, как правило, базируются на методах теории вероятности и оперируют вероятностными характеристиками исследуемых систем. Строится вероятностная модель нарушений и после её анализа предпринимаются какие-либо конкретные восстановительные мероприятия. В условиях сложного движения объекта контроля вероятностные модели весьма приближённо описывают исследуемый процесс.

Когда выявляется неисправное состояние НК, то проводится восстанавливающее воздействие со стороны системы восстановления, которая представляет собой ком-

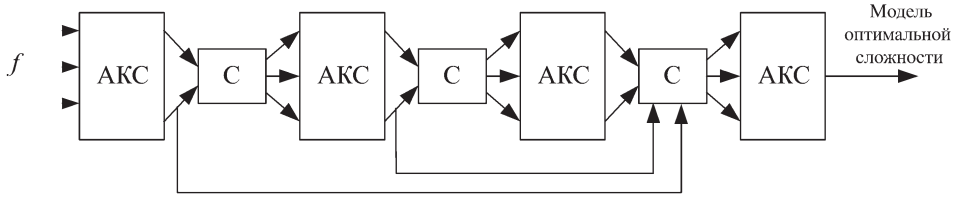


Рис. 2. Функциональная схема алгоритма самоорганизации с резервированием трендов: *f* – базисные функции; АКС – ансамбль критериев селекции; С – способ скрещивания моделей

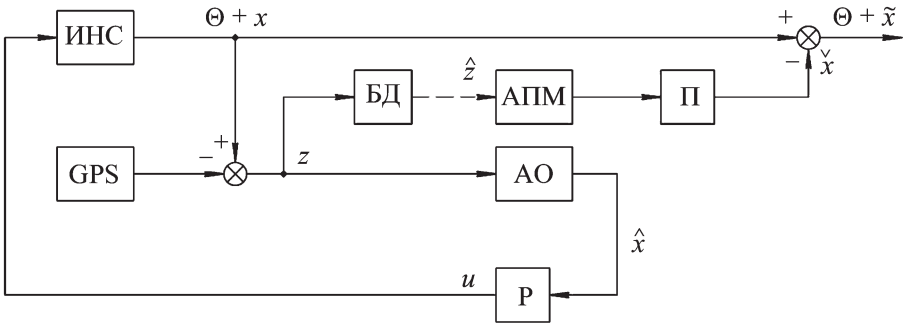


Рис. 3. Измерительный комплекс с функцией регенерации:
z – вектор измерений; $\hat{z}$ – измерительная выборка; АПМ – алгоритм построения моделей; БД – база данных; П – алгоритм прогноза; Р – регулятор; $\hat{x}$ – ошибка оценивания вектора состояния; $\tilde{x}$ – ошибка прогнозирования

плекс алгоритмов или алгоритмические включения в соответствующее программное обеспечение НК.

Когда анализируются такие важные и сложные нарушения, как дрейф ГСП, т. е. процесс, формирующие факторы которого хорошо изучены, то для определения и последующего восстановления целесообразно использовать математические модели, построенные на борту ЛА. В этом случае можно применить подход самоорганизации, нейронные сети, генетические алгоритмы (ГА).

На основе полученной модели определяется состояние исследуемого объекта, и при выходе параметров объекта за границы допуска проводится восстановление НК.

Прогнозирование осуществляется следующим образом: строится модель исследуемого процесса, а затем по этой модели проводится экстраполяция процесса на заданное время. По предсказанным значениям параметров НК можно судить о возможных нарушениях в будущем и заранее принять меры по их устранению.

Алгоритм построения моделей системы контроля. В качестве алгоритма построения прогнозирующих моделей системы контроля НК можно использовать ГА и алгоритмы самоорганизации. С помощью ГА строятся высокоточные модели погрешностей измерительных систем НК, которые используются для прогнозирования этих погрешностей в системе контроля и коррекции в выходном сигнале НК. Модель ГА позволяет изменять конфигурацию НК, т. е. осуществлять структурную регенерацию НК, но регенерировать отдельные измерительные системы на современном этапе развития бортового алгоритмического обеспечения ЛА не рационально.

Таким образом, ГА позволяют повысить точность навигационной информации при исчезновении сигналов от внешних измерителей, но использовать сложную нелинейную модель ГА в алгоритме управления затруднительно.

В практических приложениях чаще используется подход самоорганизации [2, 5], отличительной особенностью которого является использование минимального объёма априорной информации и возможность построения модели без учёта ряда существенных факторов в условиях, когда помехи в несколько раз превышают полезный сигнал (рис. 3).

При решении задачи регенерации НК классический алгоритм самоорганизации имеет те же недостатки, что и ГА. Поэтому в системе контроля и НК целесообразно применять алгоритм самоорганизации с резервированием трендов. Этот алгоритм самоорганизации можно использовать в условиях интенсивного маневрирования ЛА, а также для эффективного восстановления НК. Зарезервированные тренды используются в алгоритме управления для коррекции в структуре ИНС.

Заключение. В условиях длительных полетов ЛА погрешности определения навигационной информации увеличиваются, могут достигать неприемлемых величин, и системы НК выйдут из строя.

Известные методы коррекции и системы контроля позволяют частично решить возникающие задачи. Разработка комплексного решения поставленной задачи остается актуальной.

Определена конфигурация алгоритмического обеспечения НК ЛА, включающая систему контроля, способы коррекции в выходном сигнале и структуре ИНС. Системы контроля и коррекции НК базируются на алгоритме самоорганизации с резервированием трендов. Использование подобной модификации алгоритма самоорганизации позволяет изменять структуру НК, проводить восстановление ИНС, т. е. осуществлять регенерацию НК.

Библиографические ссылки

1. **Агеев В.М., Павлова Н.В.** Приборные комплексы летательных аппаратов и их проектирование. М.: Машиностроение, 1990. 425 с.

2. **Неусыпин К.А.** Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. М.: Изд. МГОУ, 2009. 500 с.

3. **Салычев О.С.** Скалярное оценивание многомерных динамических систем. М.: Машиностроение, 1987. 215 с.

4. **Эйкхофф П.** Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров состояния. М.: Мир, 1975. 367 с.

5. **Ивахненко А.Г., Мюллер Й.Я.** Самоорганизация прогнозирующих моделей. Киев: Техника, 1985. 375 с.

УДК 658.511

А.А. Кутин, д-р техн. наук, проф., **В.А. Долгов,** д-р техн. наук, доц., **В.А. Милькин**
(Московский государственный технологический университет "СТАНКИН")

v-dolgov@yandex.ru

МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрен метод подготовки технических предложений при решении задачи технологического перевооружения машиностроительного предприятия на основе исследования временных связей и материальных потоков производственной системы. Разработанный метод предназначен для определения "узких" мест в производственной системе предприятия по всему технологическому маршруту изготовления заданной номенклатуры изделий и недостающих технических возможностей производственной системы для выполнения производственного заказа.

Ключевые слова: производственная система, оценка производственного потенциала, производительность.

The method of technical proposals preparation for solving the tasks of the machinebuilding enterprise technological re-engineering from the research of the production system time relations and material flows is considered. Developed method is intended for bottlenecks definition in the enterprise production system through all manufacturing technological route of the specified articles nomenclature and for missing technological possibilities definition of the production system for production order implementation.

Key words: production system, production potential valuation, productivity.

Введение. Отечественные высокотехнологичные машиностроительные предприятия характеризуются значительной трудоёмкостью и сравнительно низкой производительностью выпускаемых изделий, а также сложными информационными связями между основным (технологическим) и вспомогательным (транспортным, складским) оборудованием.

Увеличение номенклатуры выпускаемых изделий и/или повышение годовой программы выпуска требует проведения технологического перевооружения и модернизации машиностроительных предприятий [1].

Опыт выполнения таких проектов свидетельствует о недостаточной их эффективности. Одним из недостатков реализации проектов технологического перевооружения и модернизации является отсутствие системного подхода к построению производственных систем. При выполнении таких проектов решаются локальные задачи ликвидации "узких" мест в производственной системе цехов закупкой отдельных видов оборудования. Это приводит к тому, что производственные мощности одних участков становятся больше производственных мощностей участков, которые являются потребителями их продукции и/или поставщиками заготовок, т. е. производственные мощности таких участков становятся избыточными. С другой стороны, нередко приобретается дорогостоящее оборудование, коэффициент загрузки которого не превышает 20–30 % [2].

Такой подход не обеспечивает повышения производительности производственной системы предприятия в целом. Технологическое перевооружение производственной системы требует проведения глубокого анализа её временных связей и материальных потоков.

Основным недостатком существующего методического обеспечения является высокая трудоёмкость анализа производственных систем, что существенно снижает его эффективность.

Сущность метода. Определение элементов производственной системы, подлежащих технологическому перевооружению и модернизации, предлагается осуществлять на основании экспресс оценки возможности выполнения машиностроительным предприятием производственного заказа в установленные сроки.

Цель экспресс оценки – это определение "узких" мест в производственной системе предприятия по всему технологическому маршруту изготовления заданной номенклатуры изделий, а также недостающих технических возможностей производственной системы для выполнения производственного заказа.

Объектами исследования при проведении экспресс оценки являются временные и логистические связи между элементами производственной системы, задействованной в изготовлении заданной номенклатуры изделий.

В разработанном методе при оценке производственной системы выделяют технологическую и транспортную подсистемы процесса, а также складскую подсистему, между элементами которых образуются материальные связи при изготовлении одного наименования продукции. Производственная система процесса является подсистемой производственной системы предприятия.

В соответствии с ГОСТ 27.004–85 технологическая система процесса включает в себя в качестве подсистем совокупность технологических систем операций, относящихся к одному наименованию изготавливаемой продукции.

Современные машиностроительные предприятия в большинстве своём являются многономенклатурными. Экспресс оценку возможности выполнения машиностроительным предприятием производственного заказа в установленные сроки целесообразно проводить для приведённых программ выпуска [3] по установленным группам деталей. Поэтому в качестве объекта анализа выбираются производственные системы процесса изготовления деталей-представителей каждой группы.

При анализе временных связей производственной системы процесса детали-представителя для приведённой программы n деталей i-й группы учитывается не только технологический цикл $T^n_{\text{Т}i}$, но и производственный $T^n_{\text{П}i}$ [4].

Анализ производственного цикла позволяет выявить несбалансированность элементов не только технологической подсистемы, но и элементов транспортной и складской подсистем, а также системы организации производства.

В общем случае производственный цикл изготовления детали-представителя для приведённой программы n деталей i-й группы j-го технологического передела определяется по формуле:

$$T^n_{\text{П}\,ij} = T^n_{\text{Т}\,ij} + T^n_{\text{Тр}\,ij} + T^n_{\text{Ск}\,ij},$$

где $T^n_{\text{П}\,ij}$ – технологический цикл обработки партии запуска n детали-представителя на j-м технологическом переделе; $T^n_{\text{Тр}\,ij}$ – трудоёмкость процессов транспортировки заготовок детали-представителя на j-м технологическом переделе; $T^n_{\text{Ск}\,ij}$ – продолжительность процессов хранения (накопления) заготовок детали-представителя на j-м технологическом переделе.

Технологический цикл обработки партии запуска n детали-представителя на j-м технологическом переделе определяется по формуле:

$$T^n_{\text{Т}\,ij} = \sum_{k=1}^{K} t^{\,j}_{\text{шт}\,ijk}\,\frac{n}{n_{\text{оп}\,k}}, \qquad (1)$$

где $t^{\,j}_{\text{шт}\,i}$ – штучное время выполнения i-й операции j-го технологического передела; K – количество технологических операций на j-м технологическом переделе; $n_{\text{оп}\,k}$ – количество заготовок, одновременно обрабатываемых на i-й операции.

Количество одновременно обрабатываемых заготовок является технической характеристикой оборудования (рабочего места).

При расчёте по формуле (1) должно выполняться условие:

$$n_{\text{оп}\,i} = n \quad \text{при} \quad n_{\text{оп}\,i} > n\,. \qquad (2)$$

При изготовлении малогабаритных деталей на транспортное и складское оборудование часто не задаются ограничения по количеству заготовок.

Затраты на транспортировку $T^n_{\text{Тр}\,ij}$ определяются по формуле:

$$T^n_{\text{Тр}\,ij} = \sum_{k=1}^{K} T^n_{\text{Тр}\,ijk} + T^n_{\text{Тр}\,ijk+1},$$

где $T^n_{\text{Тр}\,ijk}$ – затраты на транспортировку заготовок детали-представителя на k-ю технологическую операцию; $T^n_{\text{Тр}\,ijk+1}$ – затраты на транспортировку заготовок детали-представителя после выполнения последней k-й операции.

Время нахождения на складах $T^n_{\text{Ск}\,ij}$ определяется по формуле:

$$T^n_{\text{Ск}\,ij} = \sum_{k=1}^{K+1} T^n_{\text{Ск}\,ijk},$$

где $T^n_{\text{Ск}\,ijk}$ – время нахождения на складах и/или накопителях в производственном подразделении.

Время нахождения на складах и/или на накопителях заготовок детали-представителя определяется по каждому технологическому переделу:

$$T^n_{\text{Ск}\,i} = \sum_{j=1}^{m} T^{\,j}_{\text{Ск}\,i}\,.$$

С учётом сказанного выше, метод оценки состоит из трёх основных этапов.

Этап 1. Оценка длительности производственного цикла изготовления партии запуска *n* детали-представителя *i*-й группы. Объектом исследования являются временные связи производственного процесса изготовления партии запуска *n* детали-представителя *i*-й группы.

Этап 2. Оценка производственных возможностей базовой производственной системы процесса для изготовления партии запуска *n* детали-представителя *i*-й группы. Объектами исследования являются логистические и временные связи производственного процесса изготовления партии запуска *n* детали-представителя.

Этап 3. Оценка производственных возможностей производственной системы предприятия для изготовления партии запуска *n* детали-представителя *i*-й группы. Объектами исследования являются логистические и временные связи производственной системы процесса изготовления партии запуска *n* детали-представителя, включающей альтернативные элементы производственной системы.

Инструментальные средства оценки. На этапе 1 для оценки длительности производственного цикла строится граф производственного процесса изготовления детали-представителя *i*-й группы $T_{\Pi i}$, включающий процессы изменения и/или определения состояния предмета труда, транспортировки и складирования.

Выделяются два уровня детализации графа $T_{\Pi i}$: уровень технологических переделов ($T_{\Pi i}^{\text{Пер}}$) и уровень технологических операций ($T_{\Pi i}^{\text{Опер}}$).

Граф $T_{\Pi i}^{\text{Пер}}$ записывается в виде:

$$T_{\Pi i}^{\text{Пер}} = (V(T_{\Pi i}^{\text{Пер}}),\ E(T_{\Pi i}^{\text{Пер}})),$$

где $V(T_{\Pi i}^{\text{Пер}})$ – вершины графа $T_{\Pi i}^{\text{Пер}}$; $E(T_{\Pi i}^{\text{Пер}})$ – дуги графа $T_{\Pi i}^{\text{Пер}}$.

Вершинами графа $V(T_{\Pi i}^{\text{Пер}})$ являются производственные циклы всех технологических переделов и процессы транспортировки заготовок детали-представителя между производственными подразделениями (номера переделов), а дугами графа $E(T_{\Pi i}^{\text{Пер}})$ – отношения смежности между вершинами графа.

Граф $T_{\Pi i}^{\text{Опер}}$ записывается в следующем виде:

$$T_{\Pi i}^{\text{Опер}} = (V(T_{\Pi i}^{\text{Опер}}),\ E(T_{\Pi i}^{\text{Опер}})).$$

Вершинами графа $V(T_{\Pi i}^{\text{Опер}})$ являются технологические операции, процессы транспортировки, процессы хранения (накопления) заготовок (номера операций), а дугами графа $E(T_{\Pi i}^{\text{Опер}})$ – отношения смежности между вершинами графа.

Граф производственного процесса $T_{\Pi i}$ имеет следующие основные характеристики:

является ориентированным (орграфом);

является полным, т. е. каждая вершина соединена дугой (ребром) с любой другой вершиной;

не содержит циклов;

степень любой вершины графа $deg\, v_i$, кроме двух крайних (концевых), равна 2;

является помеченным.

Атрибутами вершин графа $T_{\Pi i}^{\text{Пер}}$ являются:

номера технологических переделов (метка вершины), процессов транспортировки;

название технологического передела;

номер цеха или участка;

значение производственного цикла технологического передела $T_{\Pi ij}^{n}$ или продолжительность процессов транспортировки заготовок $T_{\text{Тр}\,ij}^{n}$.

Атрибутами вершин графа $T_{\Pi i}^{\text{Опер}}$ являются:

номер операции (метка вершины);

название операции;

название технологического передела, номер цеха или участка;

код элемента производственной системы;

трудоёмкость ($t_{\text{шт}\,i}^{j}$ шт);

количество одновременно обрабатываемых заготовок $n_{\text{оп}\,i}$.

Каждой вершине графа присваивается метка, соответствующая номеру группы операций.

Граф производственного процесса удобно представлять в виде таблицы.

На этапе 2 исследуются материальные и временные связи производственного процесса изготовления партии запуска *n* детали-представителя.

Для исследования строится граф производственной системы процесса:

$$\text{ПС}_i = (V(\text{ПС}_i),\ E(\text{ПС}_i)).$$

Вершинами графа $V(\text{ПС}_i)$ являются элементы производственной системы (коды элементов), а дугами графа $E(\text{ПС}_i)$ – отношения смежности между вершинами графа (материальные связи).

Атрибуты вершин графа ПС_i соответствуют атрибутам вершин графа $T_{\Pi i}^{\text{Опер}}$.

Граф производственной системы процесса ПС_i в отличие от графа производственного процесса

$T_{\text{П}i}$ может содержать циклы, а степень вершин графа, кроме двух крайних (концевых), может быть больше 2. Циклы в графе возникают вследствие выполнения нескольких операций с использованием на одного и того же элемента производственной системы предприятия.

При выполнении этапа 2 экспресс оценки принимается, что коэффициент закрепления операций за *i*-м элементом производственной системы $K_{\text{ЗО}i}$ определяется по формуле:

$$K_{\text{ЗО}i} = deg\ v_i - 1.$$

Поэтому, с учётом сказанного выше, на этапе 2 экспресс оценки для каждой *i*-й вершины графа технологической подсистемы производственной системы процесса, для которой выполняется условие $deg\ v_i > 2$, осуществляется проверка выполнения соответствующих операций технологического процесса:

$$\Phi_{\text{РВ}}\ p \geq \sum_{k=1}^{v} t_{\text{шт}\,i\,k}\,\frac{N}{n_{\text{оп}\,k}}, \qquad (3)$$

где v – количество операций технологического процесса, выполняемые на *i*-м элементе производственной системы процесса.

Если условие (3) для *i*-го элемента не выполняется, то этот элемент следует считать "узким" местом производственной системы процесса. Тогда одной из задач технического перевооружения будет ликвидация этого "узкого" места.

На этапе 3 исследуются материальные и временные связи производственной системы изготовления партии запуска *n* детали-представителя *i*-й группы с учётом организационно-технических возможностей использования альтернативных элементов производственной системы предприятия.

Известно, что для выполнения одних и тех же операций технологического процесса могут применяться несколько элементов производственной системы. При оценке производственных возможностей предприятия для изготовления партии запуска *n* детали-представителя предложено учитывать производственные возможности альтернативных производственных систем процесса (АПСП) [5].

Под АПСП понимается множество подсистем, имеющих технологически необходимые возможности для выполнения установленных технологических операций. Трудоёмкость и затраты на выполнение одних и тех же технологических операций АПСП могут быть различны.

Для этого строится граф $\text{ПС}_i^{\text{Ал}}$ производственной системы процесса изготовления партии деталей:

$$\text{ПС}_i^{\text{Ал}} = (V(\text{ПС}_i^{\text{Ал}}),\ E(\text{ПС}_i^{\text{Ал}})).$$

Вершинами графа $V(\text{ПС}_i^{\text{Ал}})$ являются подмножества, состоящие из элементов производственной системы предприятия, а дугами графа $E(\text{ПС}_i^{\text{Ал}})$ – отношения смежности между вершинами графа.

Граф $\text{ПС}_i^{\text{Ал}}$ – это сетевая производственно-логистическая модель производственной системы.

Пример реализации метода. Рассмотрим граф производственного процесса изготовления детали-представителя "Переходная втулка" $T_{\text{П}i}^{\text{Опер}}$ (табл. 1).

В результате построения графа производственного процесса $T_{\text{П}i}^{\text{Опер}}$ определяется минимально возможное значение производственного цикла $T_{\text{П}i}^{n}$.

Так, производственный цикл изготовления партии запуска $n = 118$ составляет $T_{\text{П}i}^{n} = 418{,}91$ ч.

Граф производственного процесса $T_{\text{П}i}^{\text{Пер}}$ представлен в табл. 2.

Геометрическое представление графа производственного процесса представлено на рис. 1.

Рассмотрим возможность выполнения приведённой производственной программы выпуска группы деталей.

Годовая приведённая программа выпуска деталей *i*-й группы $N_i = 590$ шт. Значение действительного фонда рабочего времени при работе в одну смену составляет 1778 ч. Количество смен $p = 1$.

Расчёт по формуле (1) показал, что:

$$418{,}91\frac{590}{118} = 2094{,}6 \text{ ч}.$$

$$1778 < 2094{,}6.$$

Таким образом, условие (2) не выполняется. Это значит, что заданная производственная программа не может быть выполнена. Для обеспечения требуемой производительности необходимо провести технологическое перевооружение производственной системы процесса. Граф производственной системы процесса строится по данным, приведённым в табл. 1. Метками вершин графа яв-

Таблица 1

Значения атрибутов фрагмента графа производственного процесса $T_{\Pi i}^{\text{Опер}}$ изготовления детали-представителя "Переходная втулка"

Метка вершины	Название операции	Название технологического передела и процесса транспортирования / номер цеха и участка	Количество одновременно обрабатываемых заготовок $n_{\text{оп } i}$	Код элемента производственной системы	Трудоёмкость ($t_{\text{шт } i}^{j}$), ч
105	Транспортная (межцеховая)	Перемещение / № 24	–		0,7
110	Хранение	Обработка резанием / № 4	–	4.С.1	6
115	Накопление	Обработка резанием / № 4	–	4.С.2	3
120	Токарно-револьверная	Обработка резанием / № 4	1	4.Р.2	0,05
125	Транспортная	Обработка резанием / № 4	20	4.Т.2	0,1
130	Накопление	Обработка резанием / № 4	–	4.С.3	1
135	Токарно-автоматная	Обработка резанием / № 4	1	4.Р.3	0,07
140	Транспортная	Обработка резанием / № 4	–	4.Т.3	0,1
145	Вертикально-сверлильная	Обработка резанием / № 4	1	4.Р.4	0,01
150	Накопление	Обработка резанием / № 4	–	4.С.4	1
155	Автоматно-токарная	Обработка резанием / № 4	1	4.Р.5	0,04
160	Транспортная	Обработка резанием / № 4	–	4.Т.5	0,1
165	Накопление	Обработка резанием / № 4	–	4.С.6	1
170	Автоматно-токарная	Обработка резанием / № 4	1	4.Р.6	0,09
180	Транспортная	Обработка резанием / № 4	–	4.Т.6	0,1
190	Накопление	Обработка резанием / № 4	–	4.С.2	3
195	Токарно-револьверная	Обработка резанием / № 4	1	4.Р.2	0,02
200	Транспортная	Обработка резанием / № 4	–	4.Т.2	0,1
205	Накопление	Обработка резанием / № 4	–	4.Т.7	1
210	Автоматно-токарная	Обработка резанием / № 4	1	4.Р.7	0,03
215	Транспортная	Обработка резанием / № 4	–	4.Т.7	0,1

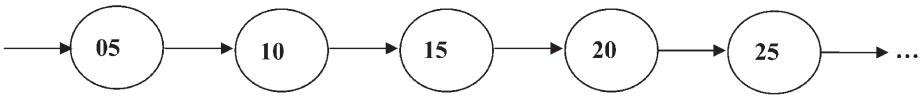


Рис. 1. Геометрическое представление фрагмента графа производственного процесса $T_{\Pi i}^{n}$ изготовления партии запуска *n* детали-представителя "Переходная втулка"

ляются коды элементов производственной системы предприятия (рис. 2).

Фрагмент графа имеет цикл (петлю), выделенный на рис. 2 жирными кружочками и стрелочками. Как видно из рис. 1 и табл. 1, элементы производственной системы 4.С.2, 4.Р.2 и 4.Т.2 используются для выполнения операций 115, 120, 125 и 190, 195, 200 соответственно.

Элементы производственной системы 4.С.2 и 4.Т.2 не имеют ограничений по количеству заготовок, накапливаемых у элемента 4.Р.2 и транспортируемых к элементу 4.С.3. Для элемента производственной системы 4.Р.2 установлены следующие ограничения: действительный фонд рабочего времени $\Phi_{РВ}$, а также количество одновременно обрабатываемых заготовок $n_{оп\,k}$.

Будем считать, что в серийном непоточном производстве партия запуска *n* передается между элементами производственной системы без дробления, т. е. каждый последующий элемент производственной системы получает заготовки только после прохождения последней заготовки предыдущего элемента.

При оценке выполнения годовой программы выпуска необходимо учитывать следующее условие: элемент 4.Р.2 сможет приступить к выполнению 120 и/или 195 операции для следующей партии запуска только после выполнения 195 операции собработки предыдущей партии запуска.

Альтернативные производственные системы формируются определением для каждой *k*-й операции базового технологического процесса множества элементов производственной системы ($ПС_{j}^{k}$), имеющих технологически необходимые возможности для её выполнения. Элементы производственной системы могут принадлежать различным структурным подразделениям.

Предложенный метод учитывает техническую возможность одновременного выполнения каждой операции на различных (альтернативных) элементах производственной системы предприятия и, тем самым, более точно оценить минимально возможный производственный цикл изготовления партии деталей.

Выводы и результаты работы. Разработанный метод оценки производственного потенциала позволяет учитывать суммарные производственные

Таблица 2

Значения атрибутов графа производственного процесса $T_{\Pi i}^{Пер}$ изготовления детали-представителя "Переходная втулка"

Метка вершины	Название технологического передела	Номер цеха / участка	Значение производственного цикла $T_{\Pi\,i\,j}^{n}$ / продолжительность транспортировки $T_{Тр\,i\,j}^{n}$, ч
05	Перемещение (межцеховое)	24	0,7
10	Обработка давлением	1 / 2	105,8
15	Перемещение (межцеховое)	24	0,5
20	Термическая обработка	1 / 3	134,15
25	Перемещение (межцеховое)	24	0,7
30	Обработка резанием	4	137,47
35	Перемещение (межцеховое)	24	0,7
40	Получение покрытий	9	38,19
45	Перемещение (межцеховое)	24	0,7

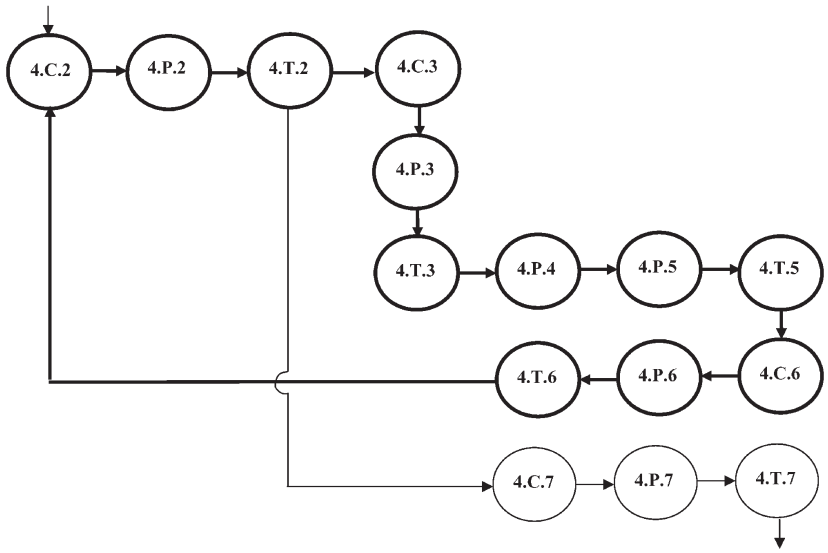


Рис. 2. Геометрическое представление фрагмента графа производственной системы процесса ПС$_i$ изготовления партии запуска *n*

возможности машиностроительного предприятия, технические возможности которых удовлетворяют технологически необходимым требованиям для изготовления определённой партии деталей.

Математическое обеспечение метода оценки производственного потенциала включает разработанную математическую модель производственной системы процесса изготовления партии деталей, которая учитывает временные и материальные связи элементов технологической, транспортной и складской подсистем производственной системы процесса изготовления партии деталей.

Использование разработанного метода позволит повысить точность оценки производственного потенциала предприятия для изготовления партии деталей, а также сократить трудоёмкость выполнения оценки.

Библиографические ссылки

1. **Григорьев С.Н.** Тенденции и проблемы модернизации машиностроительного производства на базе отечественного станкостроения // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. № 3 (11). С. 7–13.

2. **Григорьев С.Н., Кутин А.А.** Инновационное развитие высокотехнологичных машиностроительных производств на основе интегрированных АС ТПП // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 11. С. 23–29.

3. **Мельников Г.Н., Вороненко В.П.** Проектирование механосборочных цехов: Учеб. для вузов / под ред. А.М. Дальского. М.: Машиностроение, 1990. 350 с.

4. **Кутин А.А., Луцюк С.В.** Анализ структуры временных связей машиностроительного производства // Технология машиностроения. 2011. № 3. С. 58–62.

5. **Долгов В.А.** Повышение эффективности серийного производства путем управления конфигурациями технологических систем // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 7. С. 40–46.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УЧЕБНИК **В.Ф. Безъязычный**

2013 г. Объем 568 с. Формат 60x88 1/16 Переплет ISBN 978-5-94275-669-7 Цена 1000 р.

Изложены основы технологии машиностроения в соответствии с программой учебного курса. Даны основные понятия и положения, основы базирования, основы проектирования технологических процессов, общие принципы обработки деталей, причины возникновения погрешностей при механической обработке. Приведены расчет режимов резания, методика выбора способа обработки деталей, основы технического нормирования, пути повышения производительности станочных операций. Показана последовательность проектирования технологических процессов сборки.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК [004.89:004.45]:681.5.01

И.А. Щербатов, доцент, канд. техн. наук
(Астраханский государственный технический университет)

sherbatov2004@mail.ru

КОРРЕКЦИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ЦЕЛИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМЫМИ СИСТЕМАМИ

Рассмотрена процедура коррекции глобальной цели в сложных системах, реализованная в виде алгоритма. Сформулированы необходимые и достаточные условия коррекции глобальной цели, приведён пример работы синтезированного алгоритма. Показано место алгоритмического обеспечения коррекции глобальной цели сложной системы в структуре интеллектуальной системы управления.

Ключевые слова: сложная слабоформализуемая система, глобальная цель, целеполагание, интеллектуальная система управления, неопределённость.

The global targets correction procedure in complex systems, implemented in the form of an algorithm is considered. The necessary and sufficient conditions for the global target correction are formulated. An example of the synthesized algorithm work is adduced. Algorithmic support place of the global target correction for a complex system in the intelligent control system structure is shown.

Key words: weakly formalized complex systems, global target, goal-setting, intelligent control system, the uncertainty.

Введение. На всех этапах жизненного цикла сложных технических систем одним из ключевых аспектов является задача анализа и синтеза полного и непротиворечивого множества целей, сопряжённая с разработкой алгоритмов и методов выбора требуемой цели (целеполагание). Наличие различных видов неопределённостей [1], присутствующих в задачах управления сложными системами, накладывает существенные ограничения на корректность структуры целей, а значит и комплекс организационно-технических и управленческих решений, реализуемых в системах данного класса [2].

Ниже рассматривается класс многокомпонентных слабоформализуемых технических систем (МС) – сложных иерархических систем, функционирующих в условиях неопределённости исходных данных, рассогласованности локальных целей и нарушении внутренней организации из-за вновь возникающих свойств в процессе достижения глобальной цели. МС образованы компонентами [3] – организационными структурами, возникающими в процессе функционирования МС в результате изменения глобальной цели системы и появления различных видов неопределённости.

Рассмотрим подходы к формализации, выбору и коррекции глобальных целей в сложных системах. Подход на основе семиотического обеспечения логической правильности, полноты и непротиворечивости [2] предполагает многошаговый процесс декомпозиции глобальной цели. В работе [4] описана процедура перехода сложной системы в целевое состояние двумя различными способами, на основе отличающихся оценочных функций. В работе [5] множество целей системы представляется в виде иерархической структуры, когда цели функционирования отдельных роботов в нормальном состоянии неизменны и корректируются только в экстремальных ситуациях, а достижение целей носит циклический характер. Возможность отнесения роботов к классу МС показана и обоснована в работе [6]. Существует ряд работ, посвящённый выбору целей систем, представленный в форме нечётких альтернатив, формализованных с помощью нечётких множеств и нечёткой логики [7]. В работе [8] показан метод перевода сложной системы в целевое состояние на основе последовательного анализа вариантов с применением комбинированного подхода, сочетающего наряду с нечёткими и вероятностные показатели. Широкое применение целеполагания в контексте "глобальная цель/локальные цели" получило в мультиагентных системах [9, 10]. При этом для декомпозиции глобальной цели применяются деревья целей. В работе [11] описан подход ранжирования и предъявления лицу, принимающему решения (ЛПР), глобальной цели, которая имеет качественное описание, а степень достижения дан-

ной цели оценивается с применением целевого критерия, который выражен некоторой функцией. Широко известен метод анализа иерархий, когда возможные варианты выбора глобальной цели могут быть представлены как альтернативы, а выбор осуществляется на основе иерархической структуры, позволяющей выполнить количественное сравнение альтернатив [12].

Анализ задачи формализации и выбора глобальной цели сложных систем показал, что необходимо разработать специализированную процедуру коррекции глобальной цели именно в МС. Особенности, присущие МС, не позволяют использовать в полной мере подходы, описанные выше. Поэтому цель данной работы – синтез алгоритма коррекции глобальной цели МС для повышения эффективности её функционирования.

Множество глобальных целей МС и его свойства. В работе [13] постулировано наличие не единственной глобальной цели МС. В соответствии с общей концепцией системного анализа МС сформулируем основные свойства множества глобальных целей $\{G\}$:

$\{G\} \neq \varnothing$ – множество глобальных целей не пустое, присутствует хотя бы одна глобальная цель;

$\{G\} \neq \infty$ – множество глобальных целей конечно, определяемое на этапе проектирования МС;

$\{G\} = \text{correct}$ – множество глобальных целей образовано только достижимыми целями, на этапе проектирования недостижимые цели исключаются или заменяются на достижимые;

$(XF) \xrightarrow{(\overline{\Delta},\ \overline{\overline{\Delta}})} \{G\}$ – каждая глобальная цель $G' \in \{G\}$ становится основной (в смысле единственности на некотором временном интервале) при определённом наборе факторов коррекции глобальной цели (XF), количественные оценки которых заданы ограничениями типа неравенств вида $\overline{\Delta'} \le xf' \le \overline{\overline{\Delta'}}$, где $\overline{\Delta'}$ – нижняя граница оценки, а $\overline{\overline{\Delta'}}$ – верхняя граница оценки;

$\delta = \mu(G; G^*) \ge 0$ – мера близости достижения глобальной G на отрезке времени от принятия решения о необходимости коррекции глобальной цели до достижения ею требуемого значения G^*;

$\exists\{P\}: G \to G^*$ – для достижения требуемого значения глобальной цели G^* могут применяться несколько методов (способов) $\{P\}$.

На основании данных свойств множества глобальных целей получим необходимые и достаточные условия коррекции глобальной цели, которые позволят идентифицировать момент времени, в который требуется смена одной глобальной цели на другую.

Необходимые и достаточные условия коррекции глобальной цели. В процессе функционирования МС требуется коррекция глобальной цели, что обусловлено изменением факторов, определяющих целенаправленное движение МС к некоторой глобальной цели G. Замена одной цели функционирования МС на другую осуществляется в момент времени, когда изменяется набор факторов коррекции (XF). Введём определения, дополняющие понятийный аппарат методики коррекции глобальной цели.

Как правило, глобальная цель $G' \in \{G\}$ имеет качественное описание, а её коррекция проводится ЛПР или интерпретатором [11]. Степень достижения МС некоторой глобальной цели $G' \in \{G\}$ характеризуется различными критериями (целевыми функциями) Г, определяющими повышение эффективности функционирования МС. На этапе проектирования МС [14] (в дальнейшем на этапе функционирования в случае необходимости) каждой глобальной цели ставится в соответствие единственная целевая функция, т.е. имеет место следующее соотношение $G' \in \{G\} \to \Gamma'$.

Определение 1. Целевая функция Г – это шкала δ, характеризующая меру близости ρ к глобальной цели G.

Глобальной цель корректируется, когда при функционировании МС складывается ситуация Sit, характеризующаяся набором факторов (XF).

Определение 2. Целевая ситуация Sit – это набор факторов, описывающих состояние МС в некоторый момент времени, требующий коррекции глобальной цели.

Для формализации целевых ситуаций используется математический аппарат нечётких множеств второго рода, когда целевая ситуация представляется нечёткой ситуацией [15]:

$$\text{Sit} = \{\langle \mu_S(xf_i)/xf_i \rangle\}, \quad xf_i \in XF,$$

где $\mu_S(xf_i) = \{\langle \mu_{\mu_S(xf_i)}(T_j^i)/T_j^i \rangle\}$, $j \in L$, $i \in L$; T_j^i – термы лингвистической переменной xf_i.

В соответствии с введёнными выше определениями и описанными свойствами множества $\{G\}$ сформулируем необходимые и достаточные условия коррекции глобальной цели.

Необходимое условие:

$$\exists P' \in \{P\}: \rho = \| \Gamma' - \Gamma^* \|, \qquad (1)$$

где P' – способ (метод) достижения глобальной цели G^*; $\rho = \| \Gamma' - \Gamma^* \|$ – оценка близости до цели, точнее критерия, который её характеризует.

Достаточное условие:

$$\forall t > 0;\ \exists \mathrm{Sit}' \in \{\mathrm{Sit}\} : \overline{\Delta'} \le xf' \le \overline{\overline{\Delta}}\ \forall\ xf' \to \mathrm{Sit}'. \quad (2)$$

Таким образом, необходимым условием коррекции глобальной цели является принципиальное наличие способа (метода), позволяющего достичь указанную глобальную цель, а достаточным условием – вхождение факторов, характеризующих целевую ситуацию в требуемые интервалы оценок.

Алгоритм коррекции глобальной цели. Алгоритм коррекции глобальной цели использует сформулированные условия (1)–(2), поэтому для его работы требуется определить ряд конечных множеств на этапе проектирования, т. е. первоначально синтезируем алгоритм формирования множества глобальных целей $\{G\}$ (рис. 1).

В блоке *1* (рис. 1) выделяется множество возможных организационных структур МС $\{OS\}$ [3], которое влияет на формирование глобальных целей МС, а в блоке *2* – множество глобальных целей МС $\{G\}$. Затем в блоке *3* рассчитывается индекс целостности I_I и показатель совместимости I_C, которые обеспечивают правильность применения принципа коррекции глобальной цели.

Индекс целостности I_I – мера целостности МС, характеризующая МС как единое целое. Индекс целостности (Integrity index) является величиной относительной и изменяется от 0 до 1 ($I_I \in [0; 1]$). В общем виде может быть описан кортежем:

$$I_I = \langle K_i : i = \overline{1, m},\quad \xi \in [1; l],\quad \omega_i^l \rangle,$$

где $K_i : i = \overline{1, m}$ – множество компонент МС; $\xi \in [1; l]$ – множество экспертов, привлекаемых для оценки правильности выделения (обособления) МС; ω_i^l – бальная (рейтинговая) оценка вхождения i-й компоненты в МС по мнению l-го эксперта.

Показатель совместимости I_C – возможность совместного функционирования компонент внутри конкретной организационной структуры. Показатель совместимости (Compatibility indicator) является также величиной относительной и изменяется от 0 до 1 ($I_I \in [0; 1]$). В общем виде может быть описан кортежем:

$$I_C = \langle K_i : i = \overline{1, m},\ S_{ij} : j = \overline{1, n},$$
$$m \le n,\ \xi \in [1; l],\ \omega_i^l,\ \varphi_{ij}^l \rangle,$$

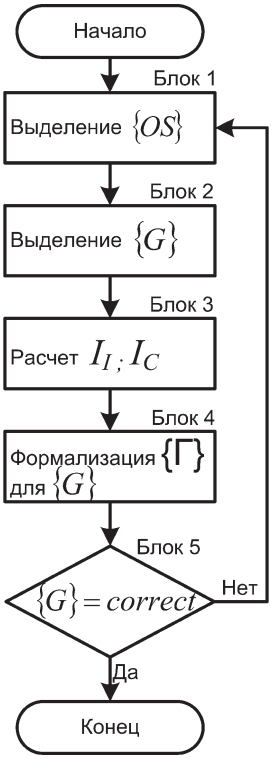


Рис. 1. Алгоритм А-1 формирования множества глобальных целей

где $S_{ij} : j = \overline{1,n}$, $m \le n$ – множество связей между компонентами; $\xi \in [1; l]$ – множество экспертов, привлекаемых для оценки правильности выделения (обособления) МС; φ_{ij}^l – бальная (рейтинговая) оценка наличия связи $i - j$ между компонентами в МС по мнению l-го эксперта.

Расчёт I_I и I_C проводится на основе опроса экспертов [16] и согласования их мнений [17]. В блоке *4* осуществляется формализация множества целевых функций, т. е. находится взаимно однозначное соответствие между каждой глобальной целью G_i и характеризующем её критерием Γ_i. В блоке *5* проверяется достижимость каждой глобальной цели. Если цель не достижима, то осуществляется возврат к блоку *5*. Результатом работы алгоритма формирования множества глобальных целей должно стать полное и не противоречивое множество достижимых глобальных целей.

На рис. 2 представлен синтезированный алгоритм коррекции глобальной цели. В блоке *1* осуществляется ввод исходных множеств $\{OS\}$, $\{G\}$, $\{\Gamma\}$, $\{P\}$, полученных в результате выполнения алгоритма формирования множества глобальных целей. В блоке *2* получают полный набор факторов коррекции глобальной цели (*XF*), обеспечивающего правильность проверки необходимости коррекции глобальной цели на основе сформированного в блоке *3*

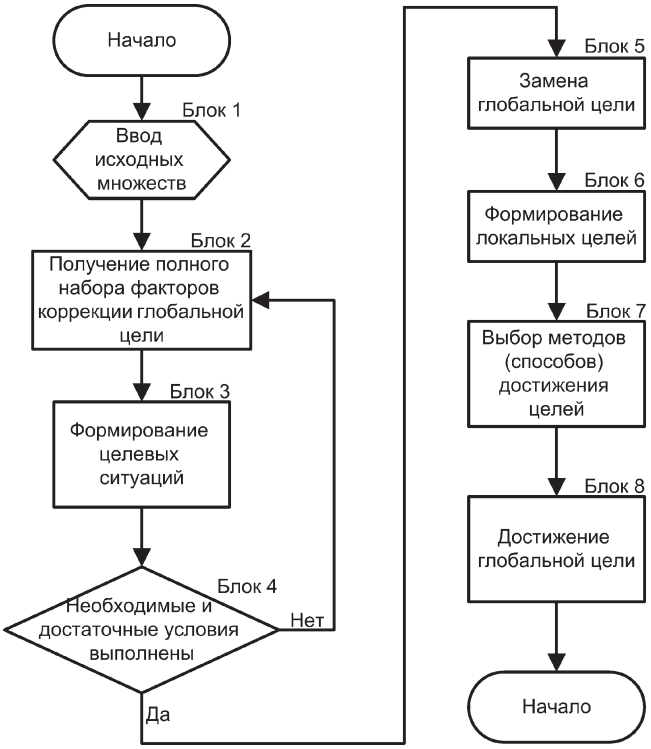


Рис. 2. Алгоритм А-2 коррекции глобальной цели

множества целевых ситуаций {Sit}. В блоке *4* проверяется выполнение условий (1)–(2), в случае невыполнения осуществляется переход к блоку *2*. Если условие в блоке *4* выполнено, то глобальная цель заменяется на новую (блок *5*), и в соответствии с ней формируется множество локальных целей $\{I\}$ для каждой из компонент, входящих в текущую организационную структуру. Затем в блоке *7* выбираются методы (способы) достижения целей. Блок *8* предназначен для достижения глобальной цели, степень достижения цели определяется расчётом соответствующей меры близости.

Пример реализации алгоритма коррекции глобальной цели. Пусть в МС *S* (гибкая производственная система [18]) в результате анализа функционального назначения, на этапе проектирования выявлены две возможные организационные структуры $\{OS_i\}$, $i = \overline{1, 2}$, состоящие из трёх компонент, и четыре возможные глобальные цели $\{G_j\}$, $j = \overline{1, 4}$. Связи представлены на рис. 3, *а*.

В результате работы алгоритма формирования множества глобальных целей А-1 получены исходные множества (см. таблицу), которые используются в работе алгоритма коррекции глобальной цели А-2. В результате оценки корректности целей (блок *5*) G_4 исключается как недостижимая цель (см. рис. 3, *б*), так как ГПМ в силу конструктивных особенностей не позволяют проводить данный тип продукта. После этого формируются целевые ситуации (см. рис. 3, *в*). На рис. 3, *г* графически показана смена глобальной цели G_3 на G_1, и формирование локальных целей, включая способы их достижения P'_{1-3} для всех компонент. Практическая

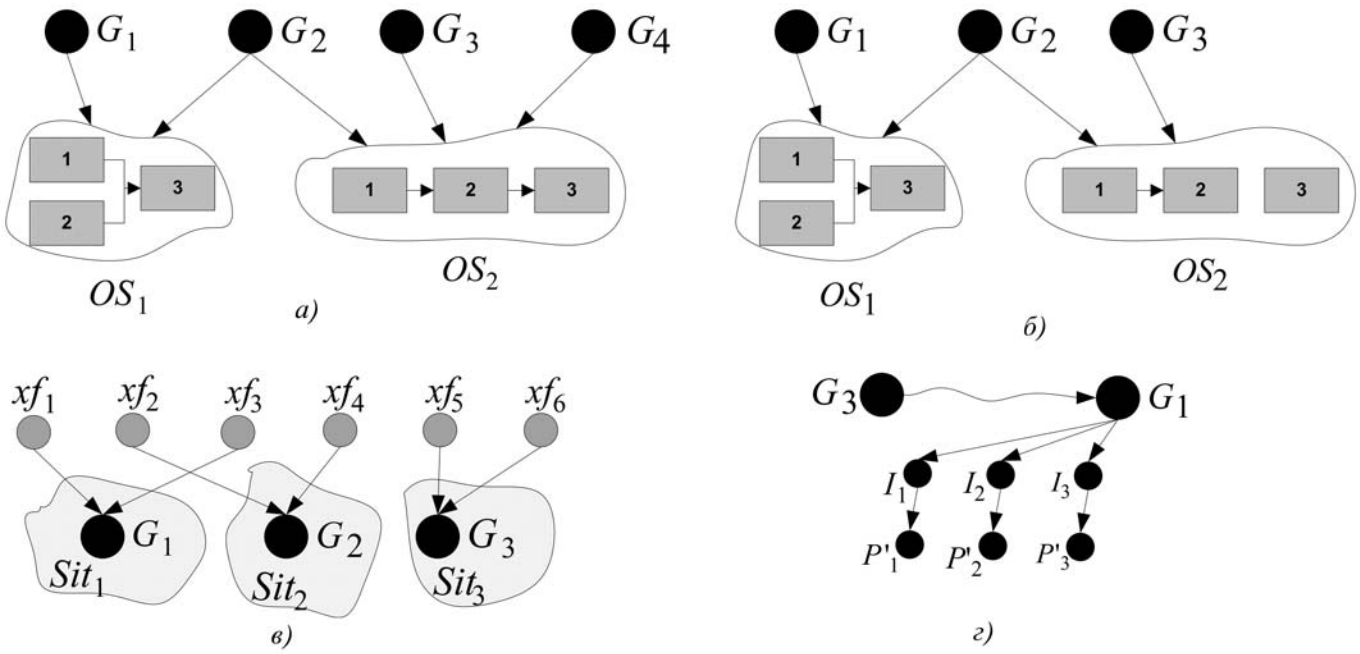


Рис. 3. Графическая иллюстрация работы алгоритма коррекции глобальной цели:
а – формирование множества {*G*} (А-1, блоки 1–4); *б* – оценка достижимости целей {*G*} (А-1, блок 5); *в* – формирование множества {*Sit*} (А-2, блоки 1–3); *г* – коррекция глобальной цели (А-2, блоки 4–7); *1* и *2* – гибкий производственный модуль (ГПМ); *3* – автоматизированная транспортно-складская система (АТСС)

Результат работы алгоритма

Множество {*OS*}	I_I	I_C	Множество {*G*}	Множество {Г}	Множество {*P*}	Цель
OS_1 – последовательно-параллельное соединение компонент	1	1	G_1 – увеличение производительности	Γ_1 – производительность в единицу времени	P_1 – позиционное управление	Достижима
			G_2 – повышение качества	Γ_2 – снижение брака	P_2 – оптимальное управление	Достижима
OS_2 – последовательное соединение компонент	1	1	G_2 – повышение качества	Γ_2 – снижение брака	P_2 – оптимальное управление	Достижима
			G_3 – изменение типа продукта 1	Γ_3 – переход на тип продукта 1	P_3 – программное управление	Достижима
			G_4 – изменение типа продукта 2	Γ_4 – переход на тип продукта 2	P_4 – программное управление	ГПМ не производит тип продукта 2

реализация способов достижения глобальной цели (блок *8* алгоритма А-2) в соответствии с необходимыми и достаточными условиями (1)–(2) показана на рис. 4.

На рис. 4, *а* показан пример коррекции глобальной цели G_1, которая привела к увеличению производительности ГПМ на 4 ед., а на рис. 4, *б* переход на выпуск другого типа продукта, за счёт проведения организационно-технических мероприятий по изменению типа выпускаемого продукта ГПМ в период времени с 2 до 2,5 (достижение глобальной цели G_3).

Алгоритмическое обеспечение коррекции глобальной цели в структуре системы интеллектуального управления. В соответствии с работой [19] и подходами, изложенными в работе [20], разработана обобщённая модифицированная структура интеллектуальной системы управления (ИСУ) (рис. 5). Основой ИСУ является интеллектуальная модель (ИМ), включающая продукционно-фреймовую модель хранения знаний о МС, а также машину вывода, обеспечивающую обработку знаний и генерацию решений, используемых для настройки алгоритмов управления, формирования локальных целей компонент и выбора методов (способов) достижения целей. Корректор базы знаний ИМ предназначен для обеспечения полноты и непротиворечивости правил [21], которые требуют обновления или удаления в процессе функционирования из-за свойств нестационарности, присущих сложным техническим системам.

Алгоритм коррекции глобальной цели функционирует на верхнем уровне ИСУ, обеспечивая установку новой глобальной цели МС в соответствии с целевыми ситуациями, обусловленными факторами коррекции глобальной цели.

Заключение. В работе описан алгоритм коррекции глобальной цели МС. Показано, что применение разработанного алгоритмического обеспечения позволяет корректировать глобальные цели

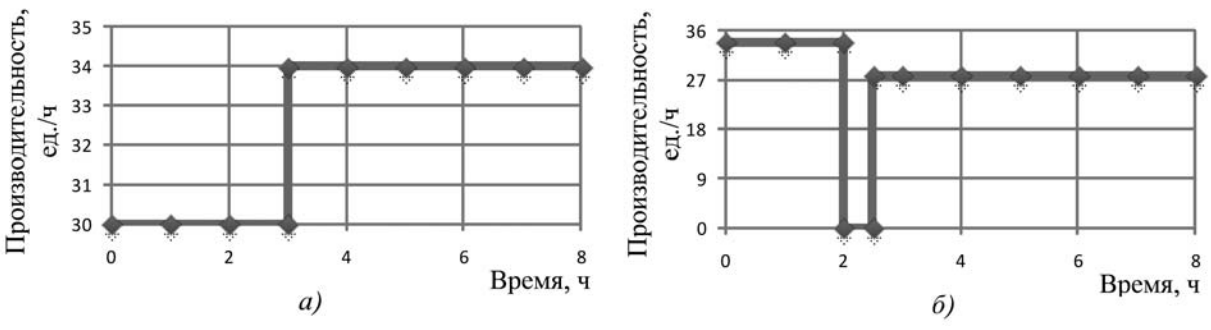


Рис. 4. Практическая реализация способов достижения цели:
а – коррекция цели G_1; *б* – коррекция цели G_3

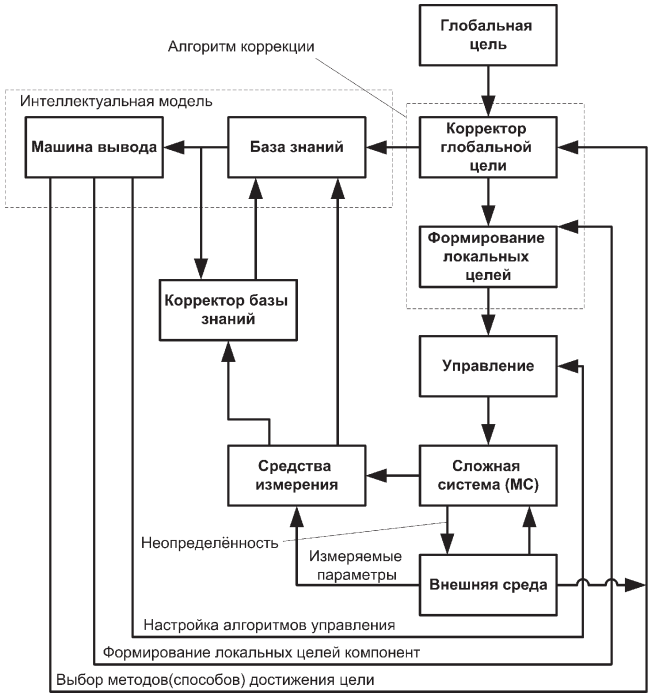


Рис. 5. Структура интеллектуальной системы управления

МС в процессе функционирования на основе идентификации целевых ситуаций. Разработана модифицированная структура ИСУ, показано место разработанных алгоритмов в её структуре.

Алгоритм коррекции глобальной цели разработан для применения в составе ИСУ МС, функционирующими в условиях различных типов неопределённости [22]. Результаты работы могут быть применены для координации работы промышленных сварочных роботов [23] или группового управления робототехническими системами различного назначения [24].

Библиографические ссылки

1. **Thunnissen D.** Uncertainty classification for the design and development of complex systems. Proceedings of the 3rd Annual Predictive Methods Conference. Veros Software. Santa Ana. CA. June. 2003. P. 1–16.

2. **Лукьянова Л.М.** Семиотические модели и методы анализа и синтеза целей систем производственной сферы // Известия КГТУ. 2008. № 13. С. 143–147.

3. **Protalinskii O.M., Shcherbatov I.A., Esaulenko V.N.** Analysis and Modelling of Complex Engineering Systems Based on the Component Approach // World Applied Sciences Journal 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society): 2013. P. 268–275.

4. **Jing H.** Local and global evaluation functions for computational evolution // Complex System. 2005. № 15. P. 307–347.

5. **Веселов Г.Е.** Проблема синтеза иерархических стратегий группового управления робототехническими системами // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. Т. 119. № 6. С. 41–49.

6. **Shcherbatov I.** Classification of pure formalized complex multicomponent technical systems under conditions of uncertainty // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: "Управление, вычислительная техника и информатика". 2012. № 2. С. 9–13.

7. **Финаев В.И., Адамова Н.М.** Особенности принятия решений на основе выбора из совокупности нечётких альтернатив // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2001. Т. 19. № 1. С. 67–70.

8. **Гриф М.Г., Цой Е.Б.** Реализация метода последовательного анализа вариантов при оптимизации сложных систем по нечётким и вероятностным показателям // Сибирский журнал индустриальной математики. 2001. Т. IV. № 2 (8). С. 123–141.

9. **Huget M.P.** Representing Goals in Multiagent Systems. In Proceedings of the 4th International Symposium on Agent Theory to Agent Implementation. Austrian Society for Cybernetic Studies. 2004. P. 588–593.

10. **Scott A. DeLoach, Matthew Miller.** A Goal Model for Adaptive Complex Systems. International Journal of Computational Intelligence: Theory and Practice. 2010. Vol. 5. № 2. 20 p.

11. **Интеллектуальные** системы управления организационно-техническими системами / под ред. проф. А.А. Большакова. М.: Горячая линия–Телеком, 2006. 160 с.

12. **Саати Т.Л.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 316 с.

13. **Щербатов И.А.** Концепция системного анализа сложных слабоформализуемых многокомпонентных систем в условиях неопределённости // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 2. С. 28–35.

14. **Технические** системы в условиях неопределённости: анализ гибкости и оптимизация / Г.М. Островский, Ю.М. Волин. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 319 с.

15. **Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я.** Ситуационные советующие системы с нечёткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.

16. **Щербатов И.А., Проталинский О.М.** Система поддержки принятия решений для операторов слабоформализуемых ТП // Автоматизация в промышленности. 2009. № 7. С. 41–45.

17. **Чегодаев А.И.** Математические методы анализа экспертных оценок // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2010. № 2 (64). С. 130–135.

18. **Козырев Ю.Г.** Применение промышленных роботов. М.: КНОРУС, 2011. 488 с.

19. **Искусственный** интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов. М.: Наука, 2006. 333 с.

20. **Щербатов И.А.** Интеллектуальное управление робототехническими системами в условиях неопределённости // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. № 1. С. 73–77.

21. **Проталинский О.М.** Применение методов искусственного интеллекта при автоматизации технологических процессов. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. 184 с.

22. **Щербатов И.А., Карихманова А.С.** Функционирование слабоформализуемой многокомпонентной системы в условиях неопределённости // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 194–202.

23. **Проталинский И.О., Щербатов И.А.** Координация работы промышленных манипуляторов на основе сенсорной информации // Датчики и системы. 2010. № 8. С. 28–32.

24. **Щербатов И.А., Проталинский И.О.** Исследование эффективности группового управления роботам методом имитационного моделирования // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. № 4 (50). С. 34–37.

УДК 681.513

А.В. Пролетарский, д-р техн. наук, проф., **К.А. Неусыпин,** д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С НАВИГАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Для построения моделей непосредственно неизмеряемых компонент вектора состояния в алгоритмах использованы измерения, приведённые к исследуемой компоненте. Разработан метод оценки точности алгоритмов построения моделей при использовании данных лабораторного эксперимента с реальными навигационными системами на примере генетического алгоритма.

Ключевые слова: навигационная система, полунатурное моделирование, генетический алгоритм.

For models creation of the not measured directly components for of the state vector in algorithms the measurements reduced to investigated component are used. Algorithm accuracy valuation method of the models creation using laboratory experiment data with real navigation systems on the example of genetic algorithm is developed.

Key words: navigation system, semi-natural modeling, genetic algorithm.

Введение. Современные измерительные системы обычно корректируются алгоритмически. Алгоритмы коррекции часто включают математические модели исследуемых процессов, различных погрешностей и др. [1]. При интенсивном маневрировании динамических объектов априорные модели исследуемых процессов применять не представляется возможным, поэтому необходимо строить модели в процессе функционирования объекта. Для высокоточной коррекции измерительных систем для построения моделей используются нейронные сети, методы самоорганизации и генетические алгоритмы (ГА) [2, 3].

Задача оценки точности построения моделей измерительных систем, в частности инерциальных навигационных систем (ИНС), является важной и актуальной. Если полученные модели ошибок ИНС обладают достаточной точностью, то их можно использовать для коррекции навигационной информации.

Исследованы вопросы адекватности построенных моделей непосредственно неизмеряемых процессов. Для построения моделей непосредственно неизмеряемых компонент вектора состояния необходимо сформировать приведённые измерения [4], под которыми понимают измерения, приведённые к исследуемой компоненте вектора состояния. При формировании приведённых измерений используется априорная математическая модель исследуемого процесса. Ввиду того, что априорные модели динамических объектов, как правило, отличаются невысокой точностью, актуальным является определение точности моделей, построенных в процессе функционирования динамического объекта. В качестве алгоритма построения модели использован ГА. Для определения точности построенных моделей необходимо разработать специальный метод. Обычно при математическом моделировании модель ГА сравнивается с априорной математической моделью исследуемого процесса, принятой за эталон. Однако при исследовании непосредственно неизмеряемых переменных состояния использование априорной модели в качестве эталона и для формирования приведённых измерений ГА не позволяет достоверно оценить точность ГА. При построении моделей ГА по данным лабораторного эксперимента для непосредственно неизмеряемых компонент вектора состояния проводить сравнение вообще не представляется возможным, так как эталон отсутствует. Поэтому для определения точности ГА при построении моделей по данным лабораторного эксперимента необходимо разработать специальный метод. Демонстрация разработанного метода определения точности ГА проведена с использованием данных лабораторного эксперимента с реальной ИНС.

Оценка точности ГА проведена по данным лабораторных экспериментов с реальными ИНС. Предложенный метод оценки точности ГА носит универсальный характер и может быть использо-

ван для оценки точности других алгоритмов построения моделей при полунатурном моделировании измерительных систем различных типов.

Способ формирования приведённых измерений для генетического алгоритма. При построении моделей непосредственно неизмеряемых переменных состояния воспользуемся известным способом формирования приведённых измерений [4].

Пусть объект описывается уравнением вида:

$$x_k = \Phi x_{k-1} + G w_{k-1}, \quad (1)$$

где x_{k-1} – вектор состояния; w_{k-1} – вектор входного шума, который является дискретным аналогом белого гауссового шума с нулевым математическим ожиданием; Φ – $(n \times m)$-матрица системы; G – $(n \times l)$-матрица входного шума.

Часть вектора состояния непосредственно измеряется и определяется уравнением

$$z_k = H x_k + v_k, \quad (2)$$

где z_k – m-вектор измерений; H – $(m \times n)$-матрица измерений; v_k – m-вектор измерительного шума, который является дискретным аналогом белого гауссового шума с нулевым математическим ожиданием, причем v и w некоррелированы между собой, т. е. $M[v_j w_k^T] = 0$.

Не теряя общности постановки задачи, предположим, что измеряется одна компонента вектора состояния, т. е. $H = [1\ 0 \ldots\ldots 0]$.

Разобьем каждый шаг измерений на n подтактов и выразим эти измерения через вектор состояния на первом подтакте измерений:

$$z = S x_1 + v, \quad (3)$$

где $z^* = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \ldots \\ z_n \end{bmatrix}$; $S = \begin{bmatrix} H \\ H\Phi \\ \ldots \\ H\Phi^{n-1} \end{bmatrix}$;

$$v^* = \begin{bmatrix} v_1 \\ H w_1 + v_2 \\ \ldots \\ H\Phi^{n-2} w_1 + \ldots + H w_{n-1} + v_n \end{bmatrix}.$$

Выразим из уравнения объекта вектор состояния в первом подтакте измерения:

$$x_1 = S^{-1} z^* + S^{-1} v^*. \quad (4)$$

Введём обозначение

$$y = S^{-1} z^*. \quad (5)$$

Уравнение для i-й компоненты вектора y имеет следующий вид:

$$y^i = a_1 z_1 + a_2 z_2 + \ldots + a_n z_n, \quad (6)$$

где y^i – элемент вектора y; a_i – элементы i-й строки матрицы S^{-1}.

Для остальных компонент вектора состояния уравнения измерений формируются в соответствии с уравнением (6).

В качестве конкретного примера рассмотрим математическую модель ошибок ИНС.

Уравнения ошибок ИНС имеют вид [3, 4]:

$$\begin{aligned} \delta V_k &= \delta V_{k-1} - gT \varphi_{k-1}, \\ \varphi_k &= \varphi_{k-1} - \frac{T}{R} \delta V_{k-1} + T \varepsilon_{k-1}, \\ \varepsilon_k &= T \varepsilon_{k-1}, \end{aligned} \quad (7)$$

где δV_k – ошибка ИНС в определении скорости; ε_k – скорость дрейфа гиростабилизированной платформы (ГСП); φ_k – угол отклонения ГСП относительно сопровождающего трёхгранника; T – период дискретизации; R – радиус Земли.

Составим вектор измерений в виде

$$z^* = S^{-1} \begin{bmatrix} \delta V_k \\ \delta V_{k+1} \\ \delta V_{k+2} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где $S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -gT & 0 \\ 1 + \dfrac{gT^2}{R} & -2gT & -gT^2 \end{bmatrix}$;

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & -gT & 0 \\ -T/R & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Для непосредственного измерения компонент вектора состояния используем следующие уравнения [4]:

$$\begin{aligned} z(\delta V) &= z_k, \\ z(\varphi) &= \frac{1}{gT} z_k - \frac{1}{gT} z_{k+1}, \\ z(\varepsilon) &= -\frac{1}{gT^2} z_k - \frac{1}{R} z_k + \frac{2}{gT^2} z_{k+1} - \frac{1}{gT^2} z_{k+2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Обратная матрица S существует, так как эта матрица является матрицей наблюдаемости, т. е. матрица S не особая, если вектор состояния полностью наблюдаем по выбранным измерениям.

Сформированный таким образом новый вектор измерений z^* позволяет непосредственно измерять весь вектор состояния. Однако измерять весь вектор состояния возможно лишь после набора n измерений.

При нестационарности матрицы системы $\Phi_{k,\ k-1}$ матрица S будет иметь следующий вид:

$$S_k = \begin{bmatrix} H \\ H\,\Phi_{k,k-1} \\ H\,\Phi_{k,k+1}\Phi_{k,k-1} \end{bmatrix}. \qquad (10)$$

Способ формирования приведённых измерений незначительно усложняется за счёт более сложного вычисления S_k.

Метод оценки точности алгоритмов построения моделей. Рассмотрим метод оценки точности алгоритмов построения моделей на примере оценки точности ГА.

Точностные характеристики реальной ИНС определяются при её установке на неподвижном основании: выходная информация о местоположении и скорости является ошибками ИНС. На выходе ГА получаем модели ошибок ИНС в определении скорости, углов отклонения ГСП от плоскости горизонта и горизонтальные дрейфы ГСП.

Для проверки точности построенных моделей ошибок ИНС необходимо разработать специальный метод. Ошибки ИНС в определении местоположения, полученные в ходе лабораторного эксперимента, необходимо сравнить с расчётными ошибками в определении широты и долготы, которые рассчитываются с помощью построенной модели ГА.

Ошибки реальной ИНС, установленной на неподвижном основании, обусловлены в основном дрейфами гироскопов, поэтому рассчитаем ошибки системы, обусловленные горизонтальными дрейфами ГСП.

Для расчёта ошибок ИНС в определении пройденного пути воспользуемся известной формулой [2, 3]:

$$\delta x = -\varepsilon^* R\left(t - \frac{\sin vt}{v}\right). \qquad (11)$$

Это выражение получено в предположении, что дрейф постоянен. Поэтому необходимо провести осреднение значений модели дрейфа на выбранных интервалах времени. Характер изменения с течением времени моделей горизонтальных дрейфов ГСП, полученных ГА по данным лабораторных экспериментов, позволяет провести осреднение на трёх интервалах: 0–100; 100–200; 200–325.

Таким образом, погрешность ИНС в определении пройденного пути будет иметь вид:

$$\begin{aligned}\delta x =& \varepsilon_1^* R\left(t - \frac{\sin vt}{v}\right) + \\ &+ (\varepsilon_2^* - \varepsilon_1^*)\left[(t - t_1) - \frac{\sin v\,(t - t_1)}{v}\right] + \\ &+ (\varepsilon_3^* - \varepsilon_2^*)\left[(t - t_2) - \frac{\sin v\,(t - t_2)}{v}\right].\end{aligned} \qquad (12)$$

Для определения широты и долготы воспользуемся формулами:

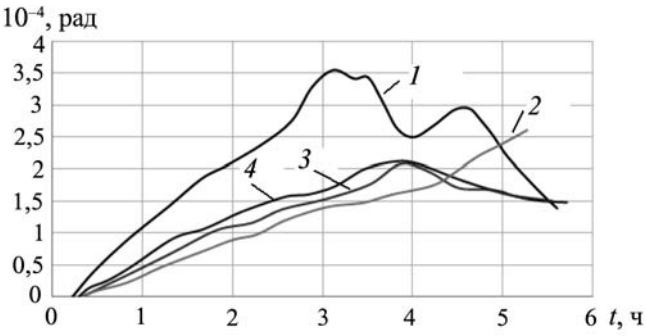
$$\delta\varphi_k = \frac{\delta y}{R}, \qquad (13)$$

$$\delta\lambda_k = \frac{\delta x}{R\cos\varphi}, \qquad (14)$$

где φ, λ – широта и долгота местоположения; δx, δy – оценки северной и восточной составляющих ошибок в определении пути реальной ИНС.

Расчётные значения ошибок по широте и долготе сравним с ошибками реальной ИНС в определении местоположения, которые получены при лабораторном эксперименте.

Моделирование по данным лабораторного эксперимента с реальной ИНС проводилось с использованием нейронной сети, алгоритма самоорганизации и ГА. Результаты моделирования представлены на рисунке.



Ошибки реальной инерциальной навигационной системы в определении широты местности и их оценки:
1 – ошибки в определении широты местности, полученные в процессе лабораторного эксперимента; *2* – оценки ошибок реальной системы, полученные с помощью нейронной сети; *3* – оценки ошибок реальной системы, полученные с помощью алгоритма самоорганизации; *4* – оценки ошибок реальной системы, полученные с помощью ГА

Моделирование показало, что наилучшие результаты по оцениванию ошибок реальной ИНС в определении широты получены с помощью ГА. Точность определения широты местности составила в среднем 0,5 угловых минут.

Результаты моделирования по данным лабораторного эксперимента продемонстрировали работоспособность алгоритмов построения моделей непосредственно неизмеряемых погрешностей ИНС (нейронных сетей, алгоритмов самоорганизации и ГА), а также эффективность предложенного метода оценки точности алгоритмов при построении моделей непосредственно неизмеряемых компонент вектора состояния.

Заключение. Разработан метод оценки точности ГА по данным лабораторного эксперимента с измерительными системами при построении моделей непосредственно неизмеряемых компонент вектора состояния. Метод позволяет оценить точность построения моделей непосредственно неизмеряемых параметров. Работоспособность представленной методики продемонстрирована на примере моделирования ГА и реальных ИНС.

Метод универсален и может быть использован для оценки точности различных алгоритмов построения моделей при проведении полунатурного моделирования с разнообразными измерительными системами.

Библиографические ссылки

1. **Пролетарский А.В., Неусыпин К.А.** Способы коррекции навигационных систем и комплексов летательных аппаратов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 5. С. 216–223.

2. **Неусыпин К.А., Пролетарский А.В.** Современные системы наведения и управления ракетами: учебн. пособие. Изд. МГОУ. 2012. 78 с.

3. **Неусыпин К.А.** Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. М.: Изд. МГОУ, 2009. 500 с.

4. **Салычев О.С.** Скалярное оценивание многомерных динамических систем. М.: Машиностроение, 1987. 215 с.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ДЕТАЛИ МАШИН

учебное пособие **П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов**

2013 г. Объем 560 с. Формат 60x88 1/16 Переплет ISBN 978-5-94275-733-5 Цена 700 р.

Изложена методика расчета и конструирования узлов и деталей машин общепромышленного применения. Приведены методические указания по выполнению чертежей типовых деталей машин, правила оформления учебной конструкторской документации.

Для студентов машиностроительных специальностей учреждений среднего профессионального образования всех форм обучения. Может быть полезно студентам высших учебных заведений.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

CISCO РАСШИРЯЕТ ЛОКАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В Твери налажен выпуск беспроводных точек доступа Cisco Aironet 1600 и 3600

Cisco продолжает расширять производство своих продуктов в России. В Твери налажен выпуск унифицированных точек беспроводного доступа Cisco Aironet серий 1600 и 3600. Это уже пятое семейство продуктов Cisco, выпускаемых в Российской Федерации на производственных мощностях одного из глобальных подрядчиков компании Cisco.

Ранее в соответствии с достигнутыми в июне 2010 г. долгосрочными договоренностями в поддержку инновационного развития России Cisco наладила производство в РФ маршрутизаторов Cisco 2911R с интеграцией сервисов (ISR), аппаратных VPN-модулей, цифровых телевизионных приставок, способных доставлять видеоконтент и новые телевизионные услуги по сетям IPTV, унифицированных точек беспроводного доступа Cisco AIR-CAP2602I-R-K9 и AIR-CAP2602E-R-K9 со встроенными и внешними антеннами.

Выпускаемые в России унифицированные беспроводные точки доступа Cisco можно приобрести у любого авторизованного партнера компании Cisco.

Флагманский продукт Cisco – точка доступа 3600. Она разработана компанией Cisco, чтобы дать заказчикам возможность более гибко реагировать на грядущие технологические инновации в области беспроводной связи. Точка доступа 3600 обеспечивает высокую производительность смартфонов и клиентов, поддерживающих технологию 802.11n, на скорости 450 Мбит/с. С выходом данного решения российским пользователям станут доступны возможности новой технологии 802.11ac – обмен данными со скоростью более 1 Гбит/с. Благодаря модульной архитектуре она обеспечит реализацию фемтосот с применением технологий UMTS/HSPA/3G и позволит установить дополнительный пассивный радиочастотный сканер для отказоустойчивого функционирования беспроводной сети в условиях действия группы помех.

Точка доступа серии 1600 разработана для удовлетворения нужд небольших и средних компаний в беспроводном подключении и предоставляет максимальную производительность в 300 Мбит/с. Спроектированное с учётом быстро растущих потребностей в мобильности, решение ориентировано на использование сотрудниками личных устройств и обеспечивает широкие функциональные возможности по доступной цене. Точка доступа серии 1600 поддерживает технологии CleanAir Express для анализа частотного спектра, Clientlink 2.0 для сетей начального уровня со смешанными клиентами и MIMO по схеме 3×3 на базе стандарта 802.11n.

"Беспроводные технологии нового поколения от Cisco открывают мобильным пользователям повсеместный доступ к приложениям и сервисам, обеспечивают работу в движении, отвечают новым требованиям по поддержке бизнес-процессов, – комментирует менеджер по развитию бизнеса Cisco в области беспроводных технологий Андрей Харитонов. – Оптимальным выбором по соотношению цена/производительность станут точки доступа серии 1600. Тем, кому необходима высокая производительность, но не требуется модульная платформа, стоит рассмотреть хорошо зарекомендовавшие себя точки доступа 2600 (запущены в локальное производство в прошлом году). Они представляют собой идеальный баланс функционала, цены и мощности. Заказчикам, осуществляющим серьезную модернизацию сети передачи данных с перспективой наращивания производительности, в том числе и сети Wi-Fi, мы посоветуем наш флагманский продукт – решение 3600".

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Разработанная гамма высокоточных планетарно-цевочных редукторов. *Вестник машиностроения*. 2013. № 4.

Разработана гамма высокоточных редукторов для станков с ЧПУ, роботов и других следящих систем с малым люфтом на выходе, высокой крутильной жёсткостью, повышенным передаточным числом, малым моментом инерции, небольшой относительной массой и высоким КПД.

Автоматизированное обеспечение параметров качества поверхностей, получаемых механической обработкой. *Вестник машиностроения*. 2013. № 4.

Рассмотрено автоматизированное обеспечение параметров качества поверхностного слоя деталей машин в ходе механической обработки при наличии начальной неопределённости. Обоснована необходимость самообучения технологической системы для обеспечения заданных параметров.

Расчётно-экспериментальный анализ контактных напряжений в шарнирных соединениях. *Вестник машиностроения*. 2013. № 4.

Представлены результаты расчётно-экспериментального исследования контактных напряжений в шарнирных соединениях методом конечных элементов (МКЭ) и методом фотоупругости. Даны рекомендации по снижению контактных напряжений.

Электроосаждение композиционных покрытий на основе никеля с нано- и микропорошками карбонитрида и карбида хрома. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2013. № 4.

Исследованы условия электроосаждения и основные характеристики композиционных покрытий никель-карбонитрид хрома и никель-карбид хрома. Установлена технологическая целесообразность применения упрочняющей фазы в виде нанопорошка, что способствует снижению концентрации электролита-суспензии, повышению катодной плотности тока и микротвердости покрытий.

Исследование упругих свойств штамповой оснастки при операции двухугловой гибки в штампе с упругой планкой. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2013. № 4.

Предложена новая схема процесса двухугловой гибки в штампе с упругой планкой. Данная схема позволит снизить упругое пружинение за счет формы упругой планки и формы пуансона, повысить качество детали, исключить из технологического процесса операцию калибровки. Определены технологические параметры процесса (изгибающая сила гибки, угол пружинения) для разных толщин заготовки, геометрические параметры, напряженно-деформированное состояние упругой планки и заготовки. Смоделирован процесс деформации упругой планки и процесс двухугловой гибки с упругой планкой в программном комплексе DEFORM-2D. Проведен анализ результатов, полученных в программном комплексе DEFORM-2D. Разработанная модель штамповой оснастки с упругой планкой показала перспективность технологического процесса и рекомендована к внедрению в производство.

Особенности газолазерного раскроя полимерного покрытия. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2013. № 4.

Рассмотрено перспективное направление в области технологии раскроя полимерных материалов – лазерному скрайбированию полимерных покрытий. Исследована технология, позволяющая автоматизировать процесс раскроя защитного покрытия, как часть технологии размерного химического травления. Рассмотрены особенности лазерного скрайбирования покрытия с точки зрения параметров лазерного раскроя, предохранения металла основного изделия от повреждения энергией лазерного излучения.

Физические основы технологии получения из икосаэдрических малых частиц металлов нано- и мифообъектов с развитой поверхностью. *Наноинженерия*. 2013. № 4.

Описаны результаты экспериментального исследования влияния отжига на икосаэдрические малые частицы меди. Изучена нанопористая структура и развитая поверхность из нанопор и нановискеров, формирующихся в процессе отжига икосаэдрических малых частиц меди. Предложены механизмы ее формирования и технология получения нанообъектов.

Нанотехнология сварки материалов способом электрического взрыва проводников. *Наноинженерия*. 2013. № 4.

Представлена перколяционная модель электрического взрыва прослоев из фольги и определено влияние электрических режимов взрыва, а также металлографической структуры и сечения проводника на характер образующейся структуры в зоне соединения.

Технология нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на детали ГТД высокой точности. *Наноинженерия*. 2013. № 4.

Приведена модель, позволяющая рассчитать погрешность вакуумного ионно-плазменного нанесения покрытия на детали высокой точности. Исходя из расчёта по модели, проведено экспериментальное исследование погрешности расположения поверхностей деталей, подтвердившее адекватность модели.

Модель может быть использована на стадии проектирования оборудования для определения объёма вакуумной камеры и расположения деталей, позволяющих обеспечить заданную точность обработки.

Использование метаматериалов на основе опаловых матриц в системах стирания информации на магнитных носителях. *Наноинженерия*. 2013. № 4.

Исследованы свойства материалов нового поколения для устройств твердотельной электроники на основе метаматериалов, включая слоистые (упорядоченные) и объемные (3D периодически упорядоченные) среды с пространственной модуляцией (дисперсией) в диапазоне 50...300 нм магнитных, электрических свойств при размере активных областей (кластеров) 5...50 нм. Разработан метод оценки восприимчивости образцов композитных материалов при воздействии на них внешними электромагнитными импульсными, переменными синусоидальными и постоянными полями. Приведены экспериментальные результаты мультипликации электромагнитных полей образцами, изготовленными из метаматериалов в однородном электромагнитном поле, в полеобразующей системе устройства стирания информации. Экспериментально подтверждено, что при частоте до 550 кГц электромагнитная восприимчивость испытуемых образцов варьируется, изменяя значение напряженности электромагнитного поля в полеобразующей системе устройства стирания информации.

Конкурентоспособные технологии сварки в машиностроении. *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2013. № 4.

Рассмотрены современные технологии соединения конструкционных материалов в машиностроении. Основное внимание обращено на способы сварки алюминиевых сплавов, применение которых в конструкциях в таких отраслях, как автомобилестроение, железнодорожный транспорт, судостроение, в последние годы существенно возрастает.

Конкурентоспособные технологии лезвийной обработки заготовок. *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2013. № 4.

Изложена методика расчётного определения технологических условий обработки лезвийным инструментом при обеспечении заданной погрешности обработки и качества поверхностного слоя.

Конкурентоспособные технологии ОУО ППД в машиностроении. *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2013. № 4.

Рассмотрены конкурентоспособные технологии ОУО ППД деталей машин, основанные на современных представлениях о механике деформируемого твердого тела и структуре поверхностных слоёв, а также применение волн деформации в процессах сборки–разборки изделий машиностроения.

Конкурентоспособные технологии электрических методов обработки. *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2013. № 4.

Рассмотрены достижения последних лет в области электрофизической, электрохимической и комбинированной обработки деталей применительно к наукоёмким отраслям машиностроения.

Модульная технология сборки в машиностроении. *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2013. № 4.

Изложен метод модульного построения сборочного производства, базирующийся на модульном описании изделия, построении элементной базы средств технологического обеспечения и сборочного технологического процесса.

Автоматизированная система расчёта живучести авиаконструкций "Алтай" для Windows. "*Полёт*". 2013. № 4.

Описана автоматизированная система расчета живучести авиаконструкций "Алтай" для Windows версии 2.15. Система позволяет производить расчёт коэффициента интенсивности напряжений, остаточной прочности и длительности роста усталостных трещин с учётом эффектов взаимодействия нагрузок для сложных элементов авиаконструкций.

Развитие методов оценки эффективности системы ГЛОНАСС и координатно-временного и навигационного обеспечения Российской Федерации. "*Полёт*". 2013. № 4.

Посвящена развитию методического аппарата, обеспечивающего проведение оценки эффективности системы ГЛОНАСС и координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО) Российской Федерации (РФ) в целом. Приводятся результаты анализа современных подходов и методов к оценке эффективности системы ГЛОНАСС. В силу множественности целей системы КВНО РФ предлагается многокритериальный подход к оценке эффективности. Предложенные подходы и методы могут быть использованы для оценки эффективности применения КВНО в различных видах пространственно-временной деятельности и при проведении сравнительного анализа различных глобальных навигационных спутниковых систем.

Применение промышленных роботов на основе средств пассивной адаптации для сборки деталей, сопрягаемых по цилиндрическим и резьбовым поверхностям. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2013. № 4.

Для обеспечения качественно роботизированной сборки предложены способы пассивной адаптации деталей, сопрягаемых по цилиндрическим и резьбовым поверхностям.

Математическая модель динамики сопряжения деталей с применением промышленного робота и вибрационного устройства. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2013. № 4.

Представлена математическая модель динамики роботизированного сопряжения деталей типа "вал–втулка" с применением пассивной адаптации на базе вибрационной опоры.

Промышленные роботы в сварочном производстве. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2013. № 4.

На примере компоновочных схем роботизированных комплексов для электродуговой сварки сложных узлов и контактной точечной сварки кабин и кузовов автомобилей показаны преимущества сварочных роботов по сравнению с ручными постами сварки. Для выбора конструктивного варианта промышленных роботов при различных структурных схемах роботизированных сварочных комплексов применен метод системного анализа. Приведены оптимальные варианты компоновок роботизированных технологических комплексов для электродуговой сварки сложных узлов и контактной точечной сварки кабин и кузовов автомобилей семейства "Газель". Представленные компоновочные схемы РТК показывают преимущества сварочных роботов по сравнению с ручными постами сварки по параметрам производительности, качеству сварки и показателю технологической гибкости.

Новая методика оценки толщины смазочной плёнки в линейном ЭГД-контакте. *Трение и смазка в машинах и механизмах*. 2013. № 4.

Установлено, что режим ЭГД-смазки характеризуется сильной неустойчивостью, приводящей к апериодическим разрывам смазочной плёнки. Предложена методика для исследования условий смазывания линейного ЭГД-контакта при жидких и пластичных смазочных материалах по величине продолжительности существования сплошной смазочной плёнки.

Конструкционные методы повышения износостойкости рабочих органов шнековых машин. *Трение и смазка в машинах и механизмах*. 2013. № 4.

Рассмотрены конструкционные и технологические методы повышения износостойкости рабочих органов шнековых машин с диаметром спирали менее 1 м. В условиях натурного эксперимента доказана высокая эффективность предложенной конструкции гуммированной спирали.

Расчётная модель остаточных напряжений упрочненного поверхностного слоя после обработки поверхностным пластическим деформированием. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2013. № 4.

Представлена расчётная модель остаточных напряжений поверхностного слоя при упрочняющей обработке поверхностным пластическим деформированием (ППД). Приведены результаты моделирования остаточных напряжений с использованием метода конечных элементов. Рассмотрены особенности распределения остаточных напряжений обработанной ППД детали по глубине упрочнённого поверхностного слоя. Выявлены основные взаимосвязи компонент остаточных напряжений с режимами обработки ППД. Проведено сопоставление полученных результатов с результатами работ других авторов.

Упрочнение накатыванием шаровой опоры из чистого титана эндопротеза тазобедренного сустава человека. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2013. № 4.

Исследована зависимость глубины упрочненного слоя сферической заготовки от технологического усилия холодного пластического накатывания. Измерением микротвердости и компьютерным моделированием метода конечных элементов в программном комплексе DeForm-3D установлено, что накатывание плоскими поверхностями обеспечивает повышение твёрдости поверхностного слоя на глубину в 2,5 раза большую по сравнению с исходной. Получено распределение напряжений и деформаций в контактной пластической области заготовки.

Общие принципы конструирования имитационных моделей процессов механической обработки для подготовки основы под нанесение покрытия. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2013. № 4.

Предложена общая методология разработки имитационных моделей процессов механической обработки для реализации методики оптимизации по двум критериям при проектировании операций подготовки основы под нанесение покрытия.

Создание экранирующих СВЧ-излучение металлических покрытий на текстильных материалах. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2013. № 4.

Разработана технологическая операция нанесения электропроводных покрытий нанометровой толщины методом КИБ на образцы из текстильных материалов в условиях низкотемпературной плазмы. Предложены условия формирования электропроводных слоев с высокой адгезией к основе. Предложены варианты возможных защитных структур. Представлены результаты испытаний на экранирование СВЧ-излучения структурами на основе текстильных материалов с полученным металлическим покрытием. Показаны преимущества использования в экранирующих структурах слоев металлизированной ткани с разными коэффициентами отражения/поглощения.

Компьютерное моделирование и настройка динамических характеристик распределённых систем. *Вестник машиностроения*. 2013. № 5.

Рассмотрены вопросы управления поведением трубопроводных систем при колебаниях. Предложен алгоритм расчёта, учитывающий влияние размещения инерционных и жесткостных элементов на динамические характеристики трубопровода, позволяющий оценить ожидаемую динамику в зависимости от проектных решений, для обеспечения эффективной виброзащиты изделий машиностроения.

Автоматизированный анализ рельефа поверхности разрушения псевдостереометрическим методом. *Вестник машиностроения*. 2013. № 5.

Рассмотрена возможность автоматизации лабораторных исследований микроповерхностей разрушения материалов с помощью псевдостереопары. Ме-

тод можно использовать для определения геометрии зоны старта трещины вязкого отрыва.

Анализ точности многоинструментной обработки на токарных станках. *Вестник машиностроения.* 2013. № 5.

Проанализирована точность многоинструментной обработки на токарных станках комбинированным резцом, многорезцовой державкой и многошпиндельной головкой. Исследовано напряженно-деформированное состояние элементов технологической системы и их влияние на точность обработки.

Новые ресурсо- и энергосберегающие технологии изготовления деталей обработкой давлением. *Вестник машиностроения.* 2013. № 5.

Описаны технологические процессы изготовления деталей сложной конфигурации с продольными рёбрами и кольцевым выступом.

Прогрев литейной магнитной формы в функции времени и расстояния от отливки. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2013. № 5.

Предложено математическое и графическое, в том числе сплайном, описание температурного поля линейной магнитной формы в функции времени и глубины прогрева на основе ограниченного числа экспериментальных данных, полученных методом заливки, позволяющее вычислить температуры поверхности отливки и формы и объема формы в любой момент времени и на любой глубине прогрева.

Повышение точности при штамповке листовых материалов. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2013. № 5.

Рассмотрены два способа повышения эффективности производства без дополнительных материальных затрат листоштампованных деталей: 1) путём повышения точности изготовления деталей за счёт корректирования инструмента на величину систематических погрешностей; 2) за счёт повышения стойкости инструмента на прессах с С-образной станиной пресса путем обеспечения совпадения центров давления пуансона и матрицы в процессе работы штампа. По точности при вытяжке с утонением выявлены две характерные особенности: возможность уменьшения-исключения влияния случайных погрешностей на точность и возможность уменьшения-исключения систематических погрешностей. Рассмотрены два способа повышения эффективности производства без дополнительных материальных затрат листоштампованных деталей: 1) путём повышения точности изготовления деталей за счёт корректирования инструмента на величину систематических погрешностей; 2) за счёт повышения стойкости инструмента на прессах с С-образной станиной пресса путем обеспечения совпадения центров давления пуансона и матрицы в процессе работы штампа. По точности при вытяжке с утонением выявлены две характерные особенности: возможность уменьшения-исключения влияния случайных погрешностей на точность и возможность уменьшения-исключения систематических погрешностей.

Получение качественных ионно-плазменных покрытий на изделиях из литых алюминиевых сплавов. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2013. № 5.

Оценено качество ионно-плазменных покрытий, наносимых на литейные сплавы алюминия различных систем легирования. Исследованы и проанализированы причины низкого качества покрытий на сплавах систем Al–Si, Al–Si–Cu. Предложены пути решения данной проблемы путем форсирования охлаждения при кристаллизации и после ее завершения, а также проведения термической обработки.

Азотирование твёрдых сплавов на основе карбида титана методом взаимодействия с нитридом алюминия. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2013. № 5.

Разработана технология азотирования твёрдых сплавов на основе карбида титана контактным способом в засыпке нитрида алюминия. В результате азотирования стойкость инструмента из этих сплавов возрастает в 2,1–2,4 раза.

Получение качественных ионно-плазменных покрытий на изделиях из литых алюминиевых сплавов. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2013. № 5.

Оценено качество ионно-плазменных покрытий, наносимых на литейные сплавы алюминия различных систем легирования. Исследованы и проанализированы причины низкого качества покрытий на сплавах систем Al–Si, Al–Si–Cu. Предложены пути решения данной проблемы путем форсирования охлаждения при кристаллизации и после ее завершения, а также проведения термической обработки.

Использование наноструктурных покрытий в металлообработке. *Наноинженерия.* 2013. № 5.

Показано, что наноструктурные покрытия повышают производительность и надежность механообработки, сокращают расход режущего инструмента.

Структурообразование биосовместимых термооксидных покрытий с микро- и наноразмерными показателями частиц и пор на чрескостных стальных имплантатах. *Наноинженерия.* 2013. № 5.

Исследовано влияние процессов воздушно-термического оксидирования стали 12Х18Н9Т, широко применяемой в медицинской технике, на поверхностную структуру создаваемых термооксидных покрытий. Экспериментально установлено, что покрытия имеют развитую морфологию с микро- и наноразмерными показателями частиц и пор. Проведена апробация in vivo медицинских стальных имплантатов с морфологически гетерогенными термооксидными покрытиями.