

# Автоматизация и Современные Технологии

---

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор  
В.Л. Белоусов

8  
—  
2012

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

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

---

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

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

---

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

---

ООО «Издательство Машиностроение»

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### АВТОМАТИЗАЦИЯ

#### НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

<b>Васильев Ю.Э.</b> Автоматизация технологической подготовки и сквозного производства материалов для ремонта улично-дорожной сети города .....	3
<b>Мещеряков В.Н., Диденко Е.Е.</b> Система управления электроприводом петледержателя .....	8
<b>Каракулин Е.М., Брейдо И.В.</b> Универсальный контроллер для управления мехатронными объектами .....	14

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Толмачёва Т.</b> Города берутся за ум .....	18
<b>Моляка А.С., Янишевская А.Г.</b> Математическая модель функций эффективности пользователей в перегруженных системах массового обслуживания .....	21
<b>Белоусов В.Л., Вершин В.Е., Вершин О.В.</b> Применение 3D-графиков к анализу экономических характеристик производства .....	27
<b>Яцун С.Ф., Мищенко В.Я., Мальчиков А.В.</b> Автоматизированный комплекс для получения пектиновых веществ ...	31
<b>Дьяков И.Ф.</b> Ультразвуковое упрочнение поверхностей деталей машин .....	35

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<b>Федосеев С.А., Гитман М.Б., Столбов В.Ю.</b> Автоматизация планирования производства калиброванного профилата .....	40
--	----

### ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

Связь–Экспоком–2012 .....	47
---------------------------	----

### ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

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

**Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении**

**(индекс по каталогу «Роспечать» — 70537, по каталогу «Пресса России» — 27838, по «Каталогу российской прессы «Почта России» — 60267) или непосредственно в издательстве по факсу: (499) 269 4897, по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте [www.mashin.ru](http://www.mashin.ru) (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефоны для справок: (499) 269 6600, 269 5298**

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

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

## CONTENTS

### AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

<b>Vasilev Yu.E.</b> Automation of technological preparation and through materials production for repair of the city street-road network .....	3
<b>Mechsheryakov V.N., Didenko E.E.</b> The control system of the looper electric drive .....	8
<b>Karakulin E.M., Breido I.V.</b> Multipurpose controller for mechatronics devices control .....	14

### MODERN TECHNOLOGIES

<b>Tolmacheva T.</b> The cities become reasonable .....	18
<b>Molyaka A.S., Yanishevskaya A.G.</b> Functions mathematical model of the users efficiency in the mass service overload systems .....	21
<b>Belousov V.L., Vershin V.E., Vershin O.V.</b> 3D-schedules application for the production economic characteristics analysis .....	27
<b>Yatsun S.F., Mishchenko V.Ya., Malchikov A.V.</b> Automatic complex in order to receive of the pectin substances .....	31
<b>Dyakov I.F.</b> Ultrasonic hardening of the machine part surfaces .....	35

### ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

<b>Fedoseev S.A., Gitman M.B., Stolbov V.Yu.</b> Production planning automation of the calibrated rolled metal .....	40
--	----

### EXHIBITION AND PRESENTATIONS

Communication–EXPOCOM–2012 .....	47
----------------------------------	----

### SURVEY OF PERIODICALS

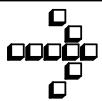
Periodicals review .....	48
--------------------------	----

Сдано в набор 30.05.12. Подписано в печать 26.07.12.  
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,9. 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**

ООО «Издательство Машиностроение»,  
«Автоматизация и современные технологии», 2012 г.



УДК 681.51

**Ю.Э. Васильев**, канд. техн. наук, доц.

(Московский автомобильно-дорожный государственный университет (МАДИ))

vashome@mail.ru

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ И СКВОЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕМОНТА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА

*Рассмотрены задачи автоматизированной технологической подготовки и сквозного производства материалов для ремонта улично-дорожной сети на примере управления рецептурой при сквозном дозировании компонентов ремонтных смесей с учётом текущего состояния ремонтируемых участков улично-дорожной сети.*

**Ключевые слова:** асфальтобетонные смеси, цементобетонные смеси, технологическая подготовка, система автоматического управления, автоматизированные цементобетонные заводы, адаптивные алгоритмы управления, дискретное производство.

*Problems of the automatic technological preparation and through materials production for street- road network repair are considered as an example of formulation management by a compounding at through repair mixtures components batching by taking into account the current state of repaired sections of a street road network.*

**Key words:** asphaltic-cement concrete mixtures, cement concrete mixtures, technological preparation, automatic control system, automatic cement concrete plant, adaptive management algorithm, discrete production.

Основной целью развития дорожно-ремонтной отрасли г. Москвы является создание комфортных и безопасных условий для участников дорожного движения, обеспечение высоких показателей надёжности и безопасности перевозок за счёт улучшения качественных характеристик и технического состояния улично-дорожной сети.

Необходимо совершенствование методов автоматизации и управления системой организации и производства дорожно-ремонтных работ, ориентированного на достижение требуемых транспортно-эксплуатационных показателей городской улично-дорожной сети. В существующем механизме управления качеством ремонта и содержания дорог в городе необходимы развитая система мониторинга, оценка и учёт фактического состояния улично-дорожной сети, выраженного конкретными параметрами – показателями нормативных документов и технических регламентов с учётом целей и требований Федеральных законов «О техническом регулировании» и «Технический регламент на безопасность зданий и сооружений» [1–3].

Сопоставление фактических показателей состояния улично-дорожной сети с нормативно установленными критериями оценки позволяет

объективно оценить качество ремонта и содержания улично-дорожной сети и принять эффективные управленческие решения. Для достижения качественных показателей транспортно-эксплуатационного состояния объектов необходимо совершенствование системы мониторинга её транспортно-эксплуатационного состояния и развития, внедрение системы контроля достигаемых результатов и мониторинга оценки эффективности управленческих решений: создание системы диагностики, включающей блок оценки и мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния дорог, целевых показателей, качества дорожных работ, технических и технико-эксплуатационных показателей готовых сооружений, а также материалов, конструкций и изделий на всех этапах их жизненного цикла.

Усовершенствованная структура автоматизированной системы ремонта улично-дорожной сети г. Москвы представлена на рисунке.

В систему входят автоматизированная система диспетчерского управления, автоматизированная система мониторинга состояния улично-дорожной сети, автоматизированный производственный комплекс, системы менеджмента качества и добровольной сертификации. Критерий функ-



#### Структура системы ремонта улично-дорожной сети г. Москвы

ционирования — минимально допустимый риск недостижения целей (согласно ФЗ «О техническом регулировании»), требований нормативных документов и технических регламентов (параметрический риск).

Повышение качества ремонтных смесей в соответствии с новыми принципами технического регулирования требует создания и внедрения

прогрессивных технологических процессов на базе современных средств автоматизации и управления. Операции дозирования и смешивания асфальтобетонных и цементобетонных смесей являются одними из главных факторов формирования качественных характеристик смеси.

В последнее время на асфальтобетонных и цементобетонных заводах используются средства

автоматизации на базе микроконтроллеров и компьютеров. Автоматизация предполагает применение комплексного подхода на начальном этапе и системного подхода (на последующих) при создании систем автоматического управления (САУ), автоматизации проектных работ (САПР), автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП). Основной парк дозаторных установок циклического действия составляют серийно выпускаемые дозаторы тонкодисперсных материалов, дозаторы заполнителей АВДИ-1200 и дозаторы жидкости АВДЖ425/1200 с рычажной весовой системой и цифербланным указателем. В настоящее время практические достижения при использовании автоматических систем управления не могут считаться удовлетворительными, так как точность дозирования систем в условиях динамических воздействий падающего материала в бункер дозатора остается низкой.

При анализе существующих систем автоматического дозирования, выполненных по структуре «датчик массы—усилитель—исполнительный механизм», а также на основании лабораторных исследований и заводских испытаний систем выяснено, что даже при правильном выборе параметров звеньев системы управления (весовой системы, датчика, усилителя, исполнительного механизма) и высокой точности отдельно взятых звеньев такие системы управления в комплексе с циклическим дозатором при динамическом режиме взвешивания имеют низкую точность и не отвечают требованиям дозирования компонентов смеси.

Поэтому повышение эффективности и качества функционирования структур автоматизированной технологической подготовки и сквозного производства материалов и работ в системе ремонта улично-дорожной сети на примере управления рецептурой при сквозном многокомпонентном дозировании компонентов ремонтных смесей с учётом текущего состояния ремонтируемых участков улично-дорожной сети является актуальной задачей.

Автоматизация асфальтобетонных и цементобетонных заводов – объективная необходимость, связанная с высокой запылённостью, трудоёмкостью работ и необходимостью обеспечения высокой точности дозирования и своевременной подачи исходных компонентов. Основные цели автоматизации – это повышение эффективности, безопасности, экологичности и экономичности производственного процесса. В настоящее время решаются следующие задачи автоматизации технологического процесса: улучшение качества регулирования, своевременное диагностирование нештатных (аварийных) ситуаций, повышение коэффициента готовности оборудования, улучше-

ние эргономики и безопасности труда операторов, обеспечение достоверности информации о материальных компонентах, применяемых в производстве, хранение информации о параметрах технологического процесса и аварийных ситуациях.

Современные средства автоматизации позволяют создавать системы управления с требуемым уровнем надёжности, эргономичности, удобные в управлении и обслуживании, приспособленные к условиям производства цементобетонного завода, с возможностью их расширения и модернизации без участия разработчика. Уровень автоматизации технологических процессов на ряде заводов характеризуется применением высокоточных и высоконадёжных средств измерения и управления, качественным информационно-телекоммуникационным обеспечением.

Между тем технологический процесс приготовления партии замесов может быть представлен лишь на уровне человека-машинной системы «оператор–система управления выходным параметром смеси». Оператор по-прежнему играет основную роль и несёт полную ответственность за выходные показатели качества смеси. Повышение уровня автоматизации до «безлюдного производства» должно происходить в плане совершенствования математического и алгоритмического обеспечения мониторинга и управления выходным параметром (например подвижностью) смеси для её дискретного производства.

В целом технологический процесс обладает свойствами наблюдаемости и управляемости. Однако для достижения требуемой эффективности управления применяемые и совершенствуемые алгоритмы регулирования на основе обратной связи должны обладать и другими требуемыми системными свойствами гибкости и адаптивности (приспособляемости к изменяющимся технологическим условиям), быть малозависимыми от результатов измерения в виде случайных выбросов [3]. Технологические процессы, реализуемые на современных асфальтобетонных и цементобетонных заводах, в той или иной степени можно отнести к классу априорно неопределённых объектов управления, в которых непредсказуемая погрешность выходного параметра может быть компенсирована регулированием (коррекцией) управляющего параметра.

К технологическим свойствам цементобетонной смеси относят транспортируемость, плотность, подвижность, воздухововлечение. Имеет место вариация размерно-механических и физико-химических свойств исходных материалов, связанная с неоднородностью минеральных материалов по зерновому составу, влажности и иным показателям. Возможны отклонения в дозировке материалов, вариации температуры и др.

Качественный анализ производства цементобетонной смеси показал, что существует огромное количество внешних воздействий (факторов), которые могут влиять на качество цементобетонной смеси. Общее число факторов – более 300.

Для удобства восприятия они были разделены на подгруппы, в которых установлены причинноследственные связи между факторами:

время (с течением времени в смеси будут протекать процессы гидролиза и гидратации, что приводит к постепенному уменьшению осадки конуса – подвижности смеси);

материалы (учтено качество добавляемых материалов в смесь);

добавки (классифицированы качественные и количественные признаки, а также способ введения добавок в смесь);

производство (учтены качество перемешивания и технология приготовления, а также наличие ложного схватывания);

транспортировка смеси (рассмотрены все возможные факторы, которые могут влиять на пластичность смеси при транспортировке её к месту бетонирования);

укладка смеси (перебраны различные способы укладки цементобетонной смеси);

перемешивание (учтено возможное влияние составляющих смеси на подвижность смеси после перемешивания её в установке);

контроль осадки конуса (учтены все действия после замера подвижности и смеси выявлена необходимость корректировки её после перемешивания, в том числе возможность «дробного введения воды», – это тоже является фактором, влияющим на подвижность смеси).

Приготовление смеси заключается в подготовке материалов, их дозировании и перемешивании. Подготовка растворов химических добавок включает растворение в воде твёрдых, пастообразных или жидких продуктов и последующее доведение раствора до заданной концентрации и температуры. Приготовление добавок осуществляется в ёмкостях, снабжённых системой трубопроводов для перемешивания раствора сжатым воздухом, а при необходимости паровыми установками для подогрева. После приготовления добавки подают в расходную ёмкость, снабжённую датчиком уровня, и по мере необходимости через дозатор в бетоносмеситель.

Одной из важнейших проблем эффективной эксплуатации цементобетонных заводов является создание и использование систем автоматического мониторинга и управления подвижностью цементобетонных смесей (САМУП).

САМУП – качественно новая структура, отличающаяся своей идеологией, методологией и техническими средствами. В основе её организации

используется модульно-иерархический принцип. Особенностью применения САМУП является управление подвижностью на основе обратной связи. При мониторинге и управлении используется информация о предыдущих управлениях и предыдущих значениях контролируемого параметра, а также учитываются конкретные свойства технологического процесса (его статистические характеристики).

Проводится построение модели образования отклонений выходных параметров (подвижности) цементобетонных смесей. В качестве измерителя используется один замес смеси. Технологический процесс приготовления смеси рассматривается с позиции системного подхода как «чёрный ящик».

Для анализа числовых рядов входных, технологических и возмущающих факторов и параметров различной природы, а также для анализа различных показателей выходных параметров предлагается использовать методический подход Невельсона–Катковника, основанный на выделении из числового ряда детерминированной, коррелированной и собственно случайной составляющей. В соответствии с этим подходом принимается, что доли входных факторов будут определять свои доли детерминированной, коррелированной и собственно случайной составляющей выходных параметров цементобетонной смеси.

Задачей исследования является построение модели образования отклонений выходного параметра от цикла к циклу замесов смеси. Модель может быть автокорреляционной или многофакторной. Технологический процесс рассматривается как переменно-нестационарный с изменяющимися характеристиками (структурой и параметрами) модели.

Анализ математической модели процесса образования выходного параметра включает статистический анализ: определение закона распределения опытных данных, от которых зависит выбор метода статистического контроля, определение параметров распределения отклонений выходного параметра, исследование влияния на него возмущающих факторов. Модель образования отклонения выходного параметра строится при моделировании реальной последовательности выходного параметра, полученной без регулирования. Для описания процесса обработки партии замесов приемлема обобщённая модель, в которой отклонение контролируемого параметра в текущем цикле замесов от номинального значения представляется суммой четырёх составляющих: наладочной, детерминированной составляющей, переменной случайной составляющей с коррелированными значениями и собственно случайной составляющей (типа дискретного белого шума).

Под настроющей составляющей понимаются значение и тенденция доли выходного показателя (подвижности), связанные с погрешностью выбора диапазона управляемости и сигнальной границы выходного параметра, и с начальным, и случайно изменяющимся в процессе приготовления партии замесов цементобетонной смеси уровнем настройки управляющего параметра.

В соответствии с определением пульсирующих коррекций, как смещений относительно одной сигнальной границы, осуществляют корректирующее приращение после каждого цикла со знаком, обратным знаку отклонения выходного параметра. Приращение формируется на основе анализа измеренных величин отклонений выходного параметра (знаков и сочетаний знаков отклонений) всех предыдущих замесов и учёта введенных ранее корректирующих приращений.

С точки зрения задач автоматизации и управления могут быть использованы методы управления по обратной связи, управления по возмущению, стабилизации, комбинированные методы. В процессе работы между циклами замесов реализуется процесс измерения выходных параметров приготовленной смеси. Корректирующие приращения формируются между циклами замесов определением величины коррекции управляющего параметра на данном цикле и суммированием его с предыдущим значением.

Методы адаптации (приспособления алгоритма к изменяющимся условиям технологического процесса) основаны на применении оценок декоррелированности процессов дискретного управления выходным параметром (подвижностью). Их применение вызвано тем, что не всегда возможно проведение экспериментальных исследований. Поэтому используются «загрублённые» алгоритмы, гарантирующие достижение положительного результата управления. В качестве критерия применяется оценка нормированного коэффициента корреляции знаков выходных показателей смеси в текущем цикле в виде относительного числа знакочередований. Используется алгоритм знакового адаптивного пульсирующего регулирования между циклами дискретного производства цементобетонных смесей. Корректирующие переменные приращения в качестве закона управления изменяются: то увеличиваются, остаются прежними, то уменьшаются.

Математическая модель имеет природу вычислительного процесса, поэтому традиционные методы исследования моделей автоматического управления (преобразование Лапласа) неприменимы в связи с нелинейностью процесса управления, пороговым и фазовым (изменением знака) изменением состояния вычислительного процесса. Корректирующие переменные приращения

передаются на дозаторы в виде цифрового сигнала, поступающего на средства автоматизации и механизации.

При управлении процессом получается центрированный ряд выходного параметра корректированных замесов. Формируются графики импульсов регулирования и результаты текущего суммирования импульсов в виде уровня настройки управляющего параметра (количество воды, отмеряемое дозатором). Данные числовые ряды могут быть подвергнуты статистическому анализу. Используются пакеты Excel и Statistica, в том числе подпрограммы вычисления автокорреляции, определения среднеквадратичного отклонения, дисперсии, матрицы и коэффициента множественной корреляции, закон распределения, анализ законов распределения и др.

Важная особенность алгоритмов мониторинга и управления – сохранение эффективности при случайных изменениях условий приготовления цементобетонных смесей. Адаптивное регулирование основано на придании системе мониторинга и управления свойств автоматически корректировать управляющий параметр или величину коэффициента обратной связи в ходе технологического процесса по результатам текущей оценки выходного параметра (коэффициента регулирования). Все адаптивные знаковые алгоритмы сохраняют основной признак – знак корректирующего приращения противоположен знаку определённого в данном цикле отклонения выходного параметра от сегментальной линии, а величина корректирующего приращения не зависит от сигнальной границы и величины отклонения. В отличие от базового алгоритма знакового регулирования и его вариантов, величина корректирующего приращения не постоянна, а определяется в ходе процесса (точнее – последовательностью ряда последних знаков отклонений).

При практической реализации алгоритма управления необходимо его оценивать в зависимости от знакочередования выходного параметра.

Таким образом, предложен переходно-структурный алгоритм по объёму выборки анализируемой информации адаптивного знакового пульсирующего регулирования с ограничениями по переменным корректирующим приращениям и диапазону изменения выходного параметра.

Приведены результаты практической реализации и отработки алгоритма адаптивного знакового регулирования в ручном режиме на автоматизированном цементобетонном заводе. Эффективность алгоритма подтверждилась для ручного режима контрольных карт управления. Разработан тренажёр (рабочее место) для обучения применения алгоритмов знакового пульсирующего регулирования, реализованный в учебном процессе на

кафедре ДСМ МАДИ и на автоматизированном цементобетонном заводе. Уточнена классификация систем автоматизированного управления с учётом новых способов адаптивного знакового пульсирующего регулирования выходного параметра качества цементобетонной смеси.

Разработан программный модуль выбора вариантов мониторинга и управления, включающий разделение отклонений выходного параметра на составляющие, регрессионный и корреляционный анализ, выбор вариантов мониторинга и управления, основанный на использовании адаптивных знаковых, пропорциональных и комбинированных алгоритмов управления. Получены экспериментальные результаты в условиях ЗАО «СОЮЗ-ЛЕС» (г. Москва). Проведённые вычис-

лительные и натурные эксперименты показали хорошую согласованность.

#### **Библиографические ссылки**

1. Васильев Ю.Э., Каменев В.В., Шляфер В.Л., Кочетков А.В. Статистические методы организации контроля качества при производстве дорожно-строительных материалов // Качество. Инновации. Образование. 2011. № 5. С. 28–31.
2. Васильев Ю.Э., Каменев В.В., Кочетков А.В., Шляфер В.Л. Адаптивное управление подвижностью при дискретном производстве цементобетонных смесей // Вестник МАДИ. 2011. № 2(25). С. 62–67.
3. Васильев Ю.Э., Челпанов И.Б., Аржанухина С.П., Каменев В.В. Автоматизация и управление подвижностью цементобетонных смесей при их дискретном производстве // Строительные материалы. 2011. № 5. С. 34–36.

УДК 621.313.333

**В.Н. Мещеряков**, д-р техн. наук, проф., **Е.Е. Диценко**  
(Липецкий государственный технический университет)

didenko\_ee@mail.ru

### **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕТЛЕДЕРЖАТЕЛЯ**

*Приведено описание системы управления электроприводом петлерегулирующего устройства (петледержателя), применяющегося для поддержания заданного натяжения стальной полосы в межклетевых промежутках чистовой группы клетей станов горячей прокатки.*

**Ключевые слова:** натяжение, петледержатель, система управления электроприводом, прокатная клеть, функциональная схема системы управления, стан горячей прокатки.

*The control system of the looper electric drive description is adduced. This looper is used for maintain of the steel strip specified tension in the spaces between mill stands of the hot-rolling mill finishing train.*

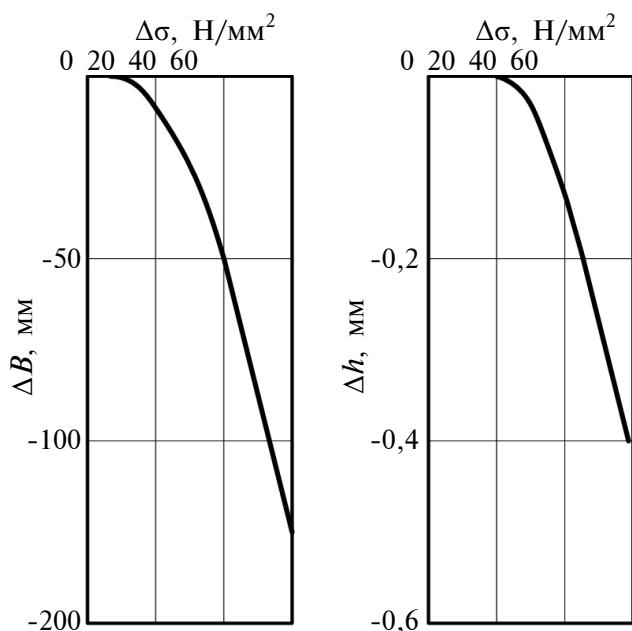
**Key words:** tension, looper, electric drive control system, rolling mill stand, function chart of control system function scheme, hot rolling mill.

Непрерывная прокатка в чистовой группе клетей ведётся с натяжением металла на участках между клетями. Отсутствие натяжения вызывает потерю устойчивости полосы в валках, смещение полосы относительно оси прокатки и аварийную ситуацию. Однако чрезмерное натяжение приводит к «утяжкам» полосы, нарушает требуемые параметры ширины и толщины прокатанной полосы.

На рис. 1 приведены зависимости, характеризующие влияние изменения межклетевого натяжения на толщину и ширину прокатываемых полос. Зависимости получены при исследовании стана 2500 горячей прокатки Магнитогорского металлургического комбината [1].

Регулирование натяжения полосы металла в межклетевом промежутке осуществляется меха-

низмом петлерегулирования (петледержателем). В настоящее время наиболее распространены петледержатели с безредукторным электрическим приводом. Конструкция применяемых на отечественных металлургических предприятиях электромеханических петледержателей приблизительно одинакова. Например, петледержатели чистовой группы стана 2000 непрерывного широкополосного стана горячей прокатки Череповецкого металлургического комбината состоят из стального облегчённого корпуса, ролика, стоек, вала, двух рычагов и карданного вала. На валу диаметром 205 мм, расположенному в стойках на подшипниках, укреплены корпус и два рычага (рама), в которых на подшипниках установлен холостой ролик диаметром 300 мм с длиной бочки 2000 мм.



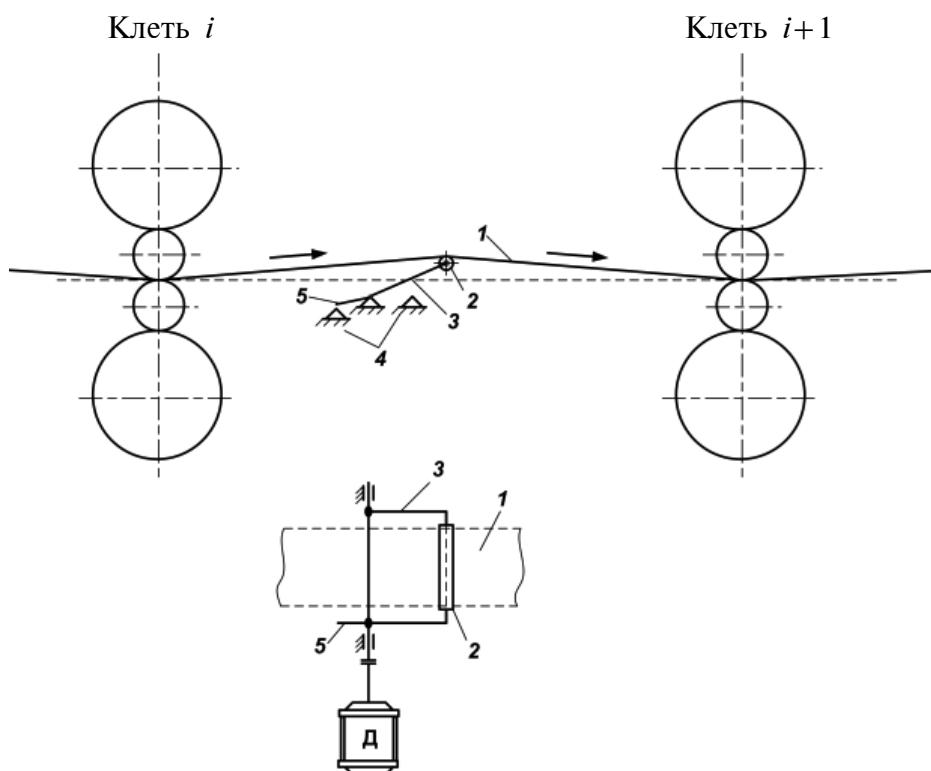
**Рис. 1. Зависимости изменений толщины и ширины прокатываемого металла от величины изменения натяжения в межклетевом промежутке:**

$\Delta h$ ,  $\Delta B$  – отклонения толщины и ширины металла;  $\Delta\sigma$  – отклонение удельного натяжения в межклетевом промежутке

Вал петледержателя соединён карданным валом с электродвигателем. Ролик петледержателя – пустотелый с толщиной стенки 44 мм. Масса ролика с цапфами 710 кг.

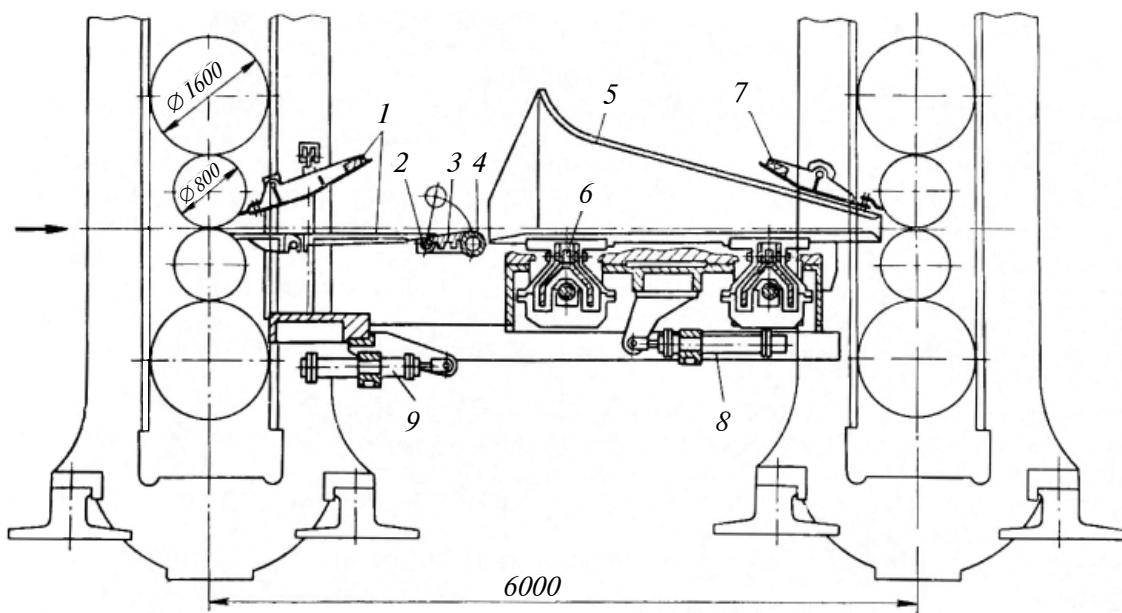
Обычно петледержатель не уравновешен и стремится опуститься вниз. Нижнее положение петледержателя определяется упором. В этом положении рама петледержателя занимает примерно горизонтальное положение. При подъёме над линией прокатки ролика рама может повернуться на угол  $45^\circ$ – $55^\circ$ , дальнейший поворот ограничивается упором (рис. 2). В рабочем положении петледержателя в процессе непрерывной прокатки в чистовой группе клетей угол поворота рамы  $10^\circ$ – $20^\circ$ . Расстояние от оси вращения рамы до оси ролика составляет 0,1 межклетевого расстояния. Таким образом, при межклетевом расстоянии 6000 мм длина рычага петледержателя около 600 мм [2]. Длина рычагов петледержателей Череповецкого металлургического комбината равна 665 мм. На рис. 2 приведена кинематическая схема безредукторного петледержателя с электрическим приводом. В данном случае вал петледержателя соединён с валом электродвигателя муфтой.

На рис. 3 приведена схема оборудования (включая петледержатель) межклетевого промежутка чистовой группы клетей непрерывного ширококо-



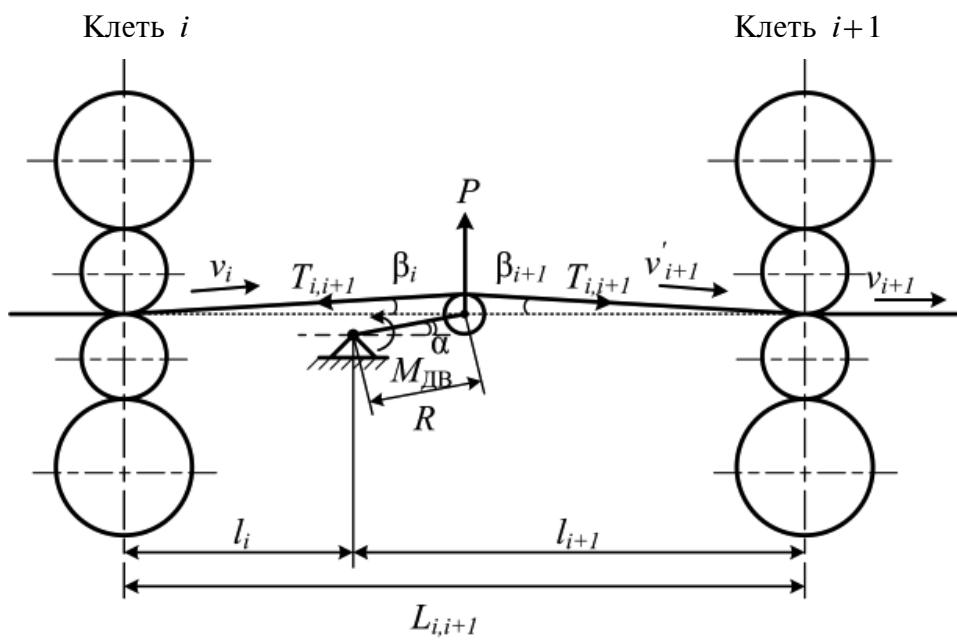
**Рис. 2. Кинематическая схема петледержателя с приводом без редуктора:**

1 – полоса; 2 – ролик петледержателя; 3 – рама петледержателя; 4 – ограничительные упоры; 5 – ограничитель верхнего положения



**Рис. 3. Проводки, направляющие линейки и петледержатели между клетями чистовой группы:**

1 – вводные проводки; 2 – приводной поворотный вал петледержателя; 3 – рычаг петледержателя; 4 – тяговой ролик, укреплённый в рычаге; 5 – направляющие линейки; 6 – ролик направляющих линеек; 7 – выводная проводка; 8 и 9 – гидроцилиндры поворота направляющих линеек и проводок за пределы окон станин при перевалке валков



**Рис. 4. Схема межклетевого промежутка при работе петледержателя:**

$v_i$  – скорость выхода металла из клети  $i$ ;  $v'_{i+1}$  – скорость входа металла в клеть  $i+1$ ;  $\alpha$  – угол подъёма петледержателя;  $\beta_i$  – угол наклона касательной к восходящей ветви петли в сечении выхода металла из валков клети  $i$ ;  $\beta_{i+1}$  – угол наклона касательной к нисходящей ветви петли в сечении входа металла в клеть  $i+1$ ;  $T_{i,i+1}$  – натяжение полосы в промежутке;  $P$  и  $M_{\text{дв}}$  – сила и момент, развиваемые приводом петледержателя, действующие на полосу в промежутке (для состояния покоя петледержателя – уравновешены воздействием со стороны полосы);  $R$  – радиус рычага петледержателя;  $L_{i,i+1}$  – длина межклетевого промежутка;  $l_i$ ,  $l_{i+1}$  – расстояния от осей смежных клетей до оси петледержателя

полосного стана горячей прокатки стана 2000 Чеповецкого металлургического комбината [1], а на рис. 4 показана схема межклетевого промежутка при работе петледержателя.

Ранее указывалось, что петледержатель регулирует натяжение стальной полосы в межклетевых промежутках. Это определяет структуру как системы управления электроприводом петледержателя, так и системы автоматического регулирования натяжения полосы в чистовой группе. В настоящее время стабилизация межклетевых натяжений осуществляется так называемыми плавающими или безразличными петледержателями. Система управления электроприводом плавающего петледержателя обеспечивает функциональную зависимость между развивающимся моментом и углом поворота. При этом для определённого интервала углов обеспечивается независимость межклетевого натяжения от угла подъёма петледержателя [2]:

$$M_{\text{дв}} \approx T_0 \frac{2R^2}{L} \sin(2\alpha),$$

где  $M_{\text{дв}}$  – крутящий момент на валу электропривода петледержателя;  $T_0$  – заданное натяжение полосы в межклетевом промежутке, которое должно поддерживаться на определённом уровне;  $\alpha$  – угол поворота рычага петледержателя;  $R$  – длина рычага петледержателя;  $L$  – длина межклетевого промежутка [3].

Иными словами, электропривод плавающего петледержателя должен иметь такой крутящий момент на валу, чтобы скомпенсировать усилие, действующее со стороны прокатываемой полосы в диапазоне рабочего угла. Петледержатель должен находиться в равновесии с полосой при рабочем угле поворота рычага. При этом имеет место косвенное измерение натяжения полосы по углу подъёма/опускания петледержателя, т. е. если угол подъёма петледержателя находится в рабочей зоне, то крутящий момент на валу двигателя пропорционален заданному натяжению. Считается, что система стабилизирует натяжение в межклетевом промежутке в соответствии с заданным. При изменении натяжения из-за различного рода возмущающих воздействий при прокатке усилие со стороны полосы, действующее на рычаг петледержателя, становится отличным от крутящего момента, развиваемого двигателем петледержателя, – петледержатель поднимается или опускается. При этом натяжение в промежутке создаётся разностью скоростей выхода металла из предыдущей клети и входа в последующую. Для возврата системы в равновесное состояние и угла поворота рычага петледержателя в рабочую зону необходимо скорректировать скорость предыдущей или последующей клетей. Как правило, ра-

бочим углом поворота рычага петледержателя считается угол  $\alpha \approx 20^\circ$ . При этом обеспечивается запас пути движения петледержателя. В результате упрощаются условия работы системы петлeregулирования.

Работа петледержателя характеризуется следующими режимами: подъём на заданный угол и удержание позиции при перевалке валков; подъём при входе полосы в клеть за петледержателем (по ходу прокатки) и регулирование натяжения в процессе прокатки; опускание с заданным темпом при выходе металла из предыдущей клети; опускание при аварийном останове соседних клетей и после перевалки.

Рассмотрим систему управления электромеханическим плавающим петледержателем с регулятором петли для одного межклетевого промежутка. Допустим, что основным оборудованием системы, являются:

электродвигатель петледержателя МПС-75 (независимого возбуждения);

преобразователь SIMOREG DC («SIEMENS», Германия);

питающий трансформатор ТСЗП – 250/0,7У3; программируемый логический контроллер (ПЛК) SIMATIC («SIEMENS», Германия).

Функциональная схема управления петледержателем с регулятором коррекции задания на скорость электропривода предыдущей клети (регулятор петли для одного межклетевого промежутка) приведена на рис. 5.

Аппаратно система строится таким образом, чтобы контур регулирования тока был реализован в SIMOREG DC, а регуляторы петли и позиции в программируемом логическом контроллере. Там же реализуется логика подъёма/опускания и формирование задания на подъём петледержателя. Информационная связь между ПЛК и SIMOREG DC осуществляется по локальной вычислительной сети ProfiBus DP.

Структура приведённой выше функциональной схемы определяется следующими факторами:

основным режимом работы петледержателя является режим поддержания натяжения при прокатке. В этом режиме петледержатель работает как упор, развивая определённый момент равный рассчитываемому моменту нагрузки, и упираясь в прокатываемую полосу. При этом в равновесном состоянии привод неподвижен;

РП функционирует именно как регулятор позиции, а поддержание заданного угла  $\alpha \approx 45^\circ$  осуществляется только при перевалках, т. е. без металла. В режиме поддержания натяжения сигнал выхода РП (задание на ток) ограничивается значением, пропорциональным сумме рассчитанного момента, а также расчётных значений составляющих момента нагрузки от массы полосы в

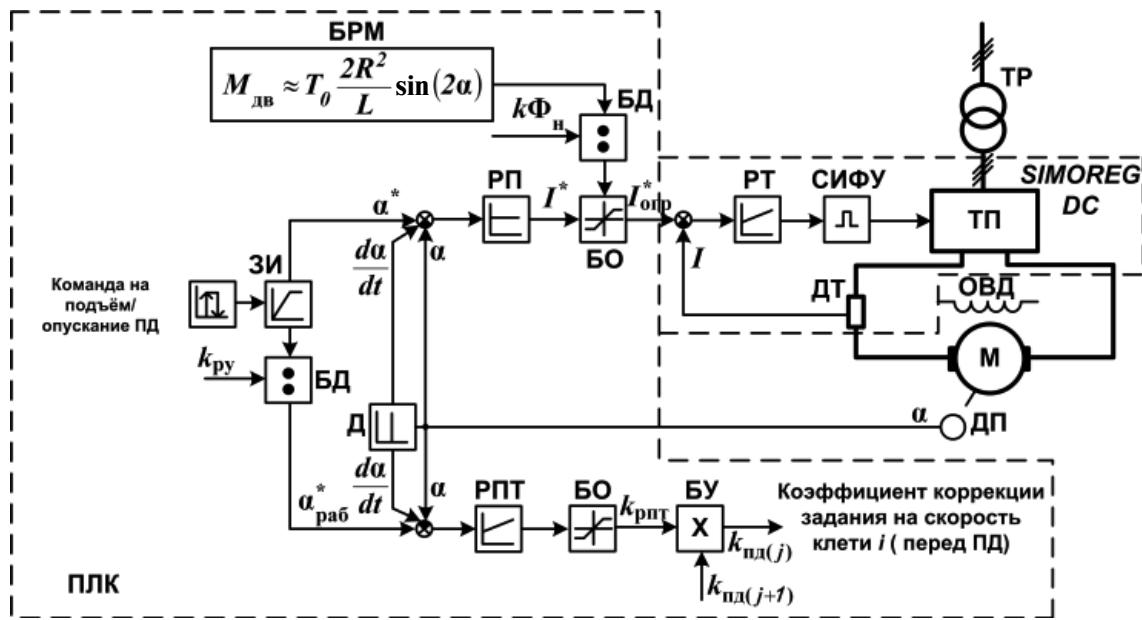


Рис. 5. Функциональная схема управления электроприводом петледержателя:

ДП – датчик позиции петледержателя; ДТ – датчик тока; ТР – трансформатор; ТП – тиристорный преобразователь; М – двигатель постоянного тока; СИФУ – система импульсно-фазового управления; ОВД – обмотка возбуждения двигателя; БД – блок деления; БУ – блок умножения; БО – блок ограничения; ЗИ – задатчик интенсивности; РП – регулятор позиции; РПТ – регулятор петли; РТ – регулятор тока; БРМ – блок расчёта момента двигателя; Д – дифференцирующее звено; ПЛК – программируемый логический контроллер;  $k\Phi_n$  – произведение конструктивной постоянной и номинального потока электродвигателя

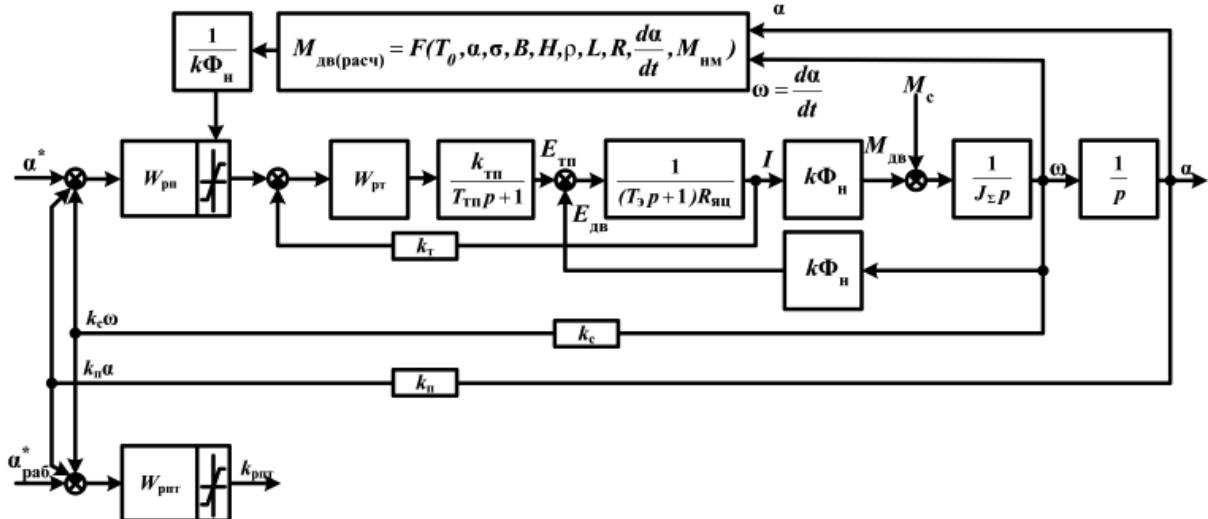


Рис. 6. Структурная схема управления электроприводом петледержателя с регулятором петли для одного межклетевого промежутка:

$W_{рп}$ ,  $W_{рт}$ ,  $W_{рпт}$  – передаточные функции регуляторов позиции, петли и тока;  $k_{тп}$  и  $T_{тп}$  – коэффициент и постоянная времени преобразователя;  $k_t$ ,  $k_c$ ,  $k_n$  – коэффициенты обратных связей по току, скорости и позиции петледержателя;  $k_{рпт}$  – коэффициент коррекции задания на скорость электропривода клети до петледержателя;  $M_{дв}$  – момент двигателя;  $M_{дв(расч)}$  – расчётное значение момента двигателя, равное расчётному значению момента нагрузки;  $M_c$  – статический момент нагрузки двигателя;  $T_0$  – электромагнитная постоянная времени;  $R_{яц}$  – активное сопротивление якорной цепи;  $J_\Sigma$  – суммарный момент инерции, приведённый к валу двигателя;  $\alpha$  и  $\omega$  – фактический угол поворота и частота вращения вала петледержателя;  $\alpha^*$  и  $\alpha_{раб}^*$  – задание на угол и на рабочий угол поворота вала петледержателя;  $k\Phi_n$  – произведение конструктивной постоянной и номинального потока электродвигателя

промежутке и от неуравновешенных масс петледержателя;

сигнал выхода регулятора петли РПТ является корректирующим коэффициентом задания на скорость электропривода клети до петледержателя. При этом задание на рабочий угол петледержателя (фактически на размер петли, так как рычаг петледержателя упирается в полосу)  $\alpha_{\text{раб}}^* = \alpha^*/k_{\text{py}} \approx 20^\circ$  (см. рис. 5);

в режиме регулирования натяжения задание на угол  $\alpha^*$  ( $\alpha^* \approx 45^\circ$  – максимально возможный угол подъёма петледержателя, ограниченный упором) должно быть больше задания как на рабочий угол  $\alpha_{\text{раб}}^* \approx 20^\circ$ , так и любого фактического угла  $\alpha$ , что устанавливает постоянное положительное рассогласование на входе РП. Это обеспечивает упор петледержателя в полосу, а также движение петледержателя за полосой при потере контакта с ней (при «набросе» петли в межклетевом промежутке).

Скорость подъёма и опускания петледержателя, определяемая настройками задатчика интенсивности углов  $\alpha^*$  и  $\alpha_{\text{раб}}^*$  в различных режимах работы системы, следующая:

при перевалке (подъём/опускание)  $\pm 20^\circ/\text{с}$ ;

подъём при прокатке  $70^\circ/\text{с}$ ;

скорость опускания петледержателя при прокатке должна быть синхронизирована со скоростью  $i$  клети. При выходе металла из клети  $i+1$  (см. рис. 4) петледержатель должен лежать, что исключает подбрасывание «хвоста» полосы при выходе её из промежутка;

скорость опускания петледержателя при аварии  $20^\circ/\text{с}$ .

В случае подъёма петледержателя при перевалке в качестве ограничения задания на ток  $I^*$  (выход РП) используется только сигнал, пропорциональный моменту нагрузки от неуравновешенных масс конструкции петледержателя и обеспечивающий необходимую динамику подъёма.

Функциональной схеме, приведённой выше, соответствует структурная схема на рис. 6, при этом принимается, что электродвигатель и механизм петледержателя можно рассматривать как одномассовую механическую систему.

На основе приведённого выше описания можно построить и рассчитать математическую модель системы управления электроприводом петледержателя, которая необходима для моделирования и исследования динамических процессов в межклетевом промежутке, включающего механизмы двух смежных клетей и петледержателя, связанных прокатываемой полосой.

Моделирование выполняется с помощью специализированных пакетов программ (например, MatLab ф. «MathWorks», США).

#### **Библиографические ссылки**

1. Фомин Г.Г., Дубейковский А.В., Гринчук П.С. Механизация и автоматизация широкополосных станов горячей прокатки. М.: Металлургия, 1979. 232 с.
2. Стефанович В.Л. Автоматизация непрерывных и полунепрерывных широкополосных станов горячей прокатки. М.: Металлургия, 1975. 208 с.
3. Дружинин Н.Н. Непрерывные станы как объект автоматизации. М.: Металлургия, 1975. 336 с.
4. Ключев В.И. Теория электропривода: учеб. для вузов. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1998. 704 с.

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**  
энциклопедия

## **ЭНЦИКЛОПЕДИЯ “МАШИНОСТРОЕНИЕ”** **ТОМ II-1. "ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.** **ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ".**

Под общ. ред. Е.И. Мамаевой

2010. 852 с. ISBN 978-5-217-03469-7

**Цена 2000 р.**

Приведены методы и средства определения химического состава и исследования структуры металлических материалов, методы и средства испытаний для определения основных физико-механических свойств при различных видах нагрузления, характеристик малоцикловой усталости, многоцикловой усталости, термической прочности, коррозионно-механической прочности и трещиностойкости. Рассмотрено строение изломов при разных видах нагружения и в условиях длительного воздействия статистических нагрузок.

Для специалистов и инженерно-технических работников промышленности.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:  
по почте: 107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 62-529

**Е.М. Каракулин, И.В. Брейдо,** д-р техн. наук, проф.

(Карагандинский государственный технический университет, Республика Казахстан)

yevgeniy.karakulin@bakerhughes.com

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

*Рассмотрены система управления мехатронным объектом с применением программируемых контроллеров шаговых двигателей, её недостатки при мелкосерийном производстве. Предлагаемая система разработана на основе универсального контроллера. Описаны его устройство, функциональные возможности и принцип работы.*

**Ключевые слова:** ЧПУ, мехатроника, шаговый двигатель, резонанс шагового двигателя, микростаг.

*Mechatronics device control system with application of the stepping motor programmable controllers, its disadvantages in small-scale production are considered. Offered system is developed from a multipurpose controller. Its structure, the functional potentialities and operation principle are described.*

**Key words:** CNC, mechatronics, stepping motor, stepping motor resonance, microstep.

В современной обрабатывающей промышленности доля автоматизированных систем управления процессами обработки непрерывно увеличивается[1]. Производителями оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) разрабатываются специализированные контроллеры шаговых двигателей (ШД), которые предназначены для управления приводом только на определённом оборудовании[2]. Большинство универсальных контроллеров управления ШД разработаны несколькими лидерами в области автоматизации (Siemens, Mitsubishi Electric). Все без исключения контроллеры такого типа являются программируемыми, т. е. геометрическая задача загружается напрямую в контроллер через стандартный интерфейс и далее обрабатывается непосредственно в контроллере (рис. 1).

Структурная схема управления мехатронным объектом с применением промышленно выпускаемых программируемых контроллеров, представленная на рис. 1, включает [3]:

систему автоматизированного проектирования (CAD);

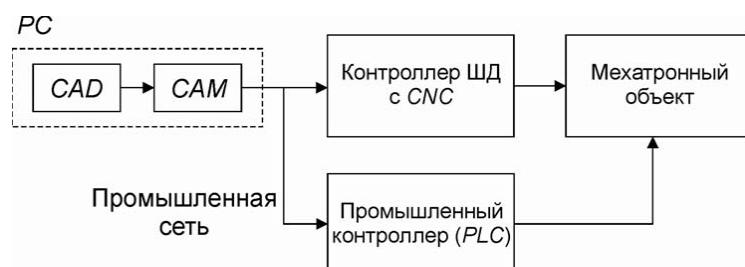
автоматизированную систему технологической подготовки производства (CAM);

контроллер ШД с системой обработки геометрической задачи (CNC);

промышленный контроллер (PLC) для управления электроавтоматикой.

Настройка программируемых контроллеров требует от обслуживающего персонала навыков работы со специализированным программным обеспечением фирм-производителей контроллеров. Также в большинстве случаев для функционирования контроллеров требуется дополнительное оборудование (промышленные контроллеры для управления электроавтоматикой, устройства для организации промышленной сети).

Программируемые контроллеры удобны для многосерийного производства, когда загруженная в них программа выполняется многократно по сигналу, передаваемому по промышленной сети.



**Рис. 1. Структурная схема управления мехатронным объектом**

При мелкосерийном производстве такие контроллеры неудобны, так как обслуживающему персоналу приходится часто перепрограммировать контроллер. Каждый раз загружать новую управляющую программу в контроллер для выполнения одного или нескольких рабочих циклов программы ненецелесообразно. Ещё одним недостатком контроллеров, выпускаемых промышленностью, является ориентированность на отдельные модели ШД. Это неудобно и невыгодно при модернизации устаревших систем на основе ШД, так как вместе с системами управления приходится заменять вполне работоспособные ШД [4].

Поэтому необходимо разработать универсальный контроллер, ориентированный на управление различного типа ШД, отвечающих установленному диапазону изменения тока. В универсальном контроллере функцию обработки программы перемещений и выдачи необходимых сигналов для управления ШД осуществляла бы специализированная программа, находящаяся в персональном компьютере.

Необходимо отметить, что при этом значительно упростится конструкция контроллера ШД. Известные программы ЧПУ (*PCNC*) на ПК-платформе (*MACH3*, *KCam*, *TurboCNC*), разработанные специалистами, самостоятельно изготавливающими системы управления станками с ЧПУ, намного удобнее для применения в мелкосерийном производстве.

Структурная схема управления мехатронным объектом с применением предлагаемого универсального контроллера (рис. 2) включает:

систему автоматизированного проектирования (*CAD*);

автоматизированную систему технологической подготовки производства (*CAM*);

систему обработки геометрической задачи (*PCNC*), интегрированную в персональный компьютер (*PC*);

универсальный контроллер, управляющий как ШД, так и электроавтоматикой.

Универсальный контроллер, разработанный в Карагандинском государственном техническом университете (КарГТУ) на кафедре «Автоматиза-

ции производственных процессов (АПП)» [5], позволяет:

- управлять любыми ШД (униполярными, биполярными), применяемыми в мелкосерийном производстве;

- одновременно управлять четырьмя ШД;

- осуществлять работу с существующими программами ЧПУ с помощью стандартного протокола *STEP/DI/R/ENABLE* через параллельный порт *LPT* персонального компьютера (ПК);

- подключать датчики для установки нулевого положения рабочего органа;

- управлять дополнительными нагрузками, например насосом подачи охлаждающей жидкости и т. п.;

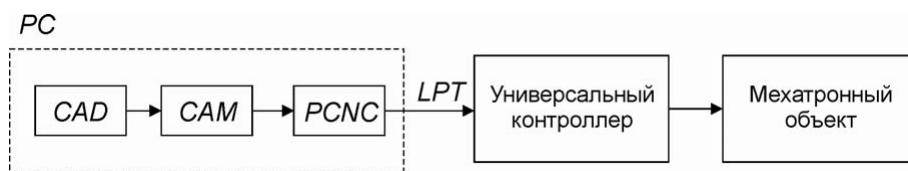
- осуществлять программное управление частотой вращения шпинделя или другого рабочего органа мехатронного объекта.

Разработанный универсальный контроллер обеспечивает управление ШД для многокоординатного перемещения (возможно управление четырьмя ШД) рабочего органа системы с ЧПУ на ПК-совместимой платформе с использованием стандартных программ ЧПУ на основе *G* и *M* кодов.

Структурная схема универсального контроллера, приведённая на рис. 3, содержит:

- интерфейсную плату опторазвязки (*IO*);
- контроллеры шаговых двигателей (*DM1*..., *DM4*);
- дополнительные нагрузки (*LOAD*..., *LOAD2*);
- преобразователь сигнала с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) напряжения (*PWM*);
- датчики нулевого положения (*S1*..., *S4*);
- шаговые двигатели (*M1*..., *M4*);
- устройство управления скоростью шпинделя (*MCS*);
- двигатель шпинделя (*M5*);
- блок питания (*POWER*).

Контроллер ШД разработан на основе микроконтроллера PIC18F2320. Контроллер поддерживает стандартный протокол управления *STEP/DI/R/ENABLE*. Сигнал *STEP* — тактирующий сигнал, сигнал шага (один импульс приводит к повороту ротора ШД на один шаг). Сигнал *DIR* — потенциальный сигнал, сигнал направления. Если логическая единица, то ШД вращается по часовой стрелке, если ноль — против часовой стрелки. Сигнал *ENABLE* — потенциальный сигнал, сигнал включения или выключения контроллера.



**Рис. 2. Структурная схема управления мехатронным объектом с применением универсального контроллера**

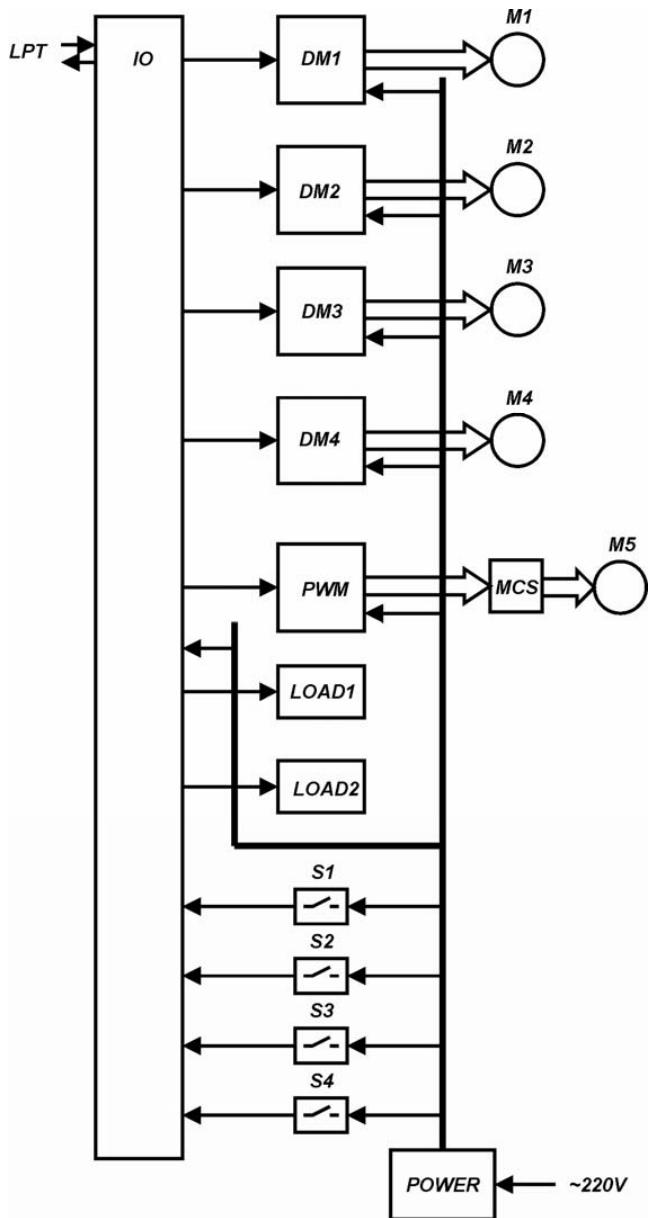


Рис. 3. Структурная схема универсального контроллера

Все управляющие сигналы, поступающие с *LPT* порта ПК, проходят через токоусилительный оптоизолированный буферный элемент (ток каждого контакта усилен до уровня 30 мА). Поэтому универсальный контроллер совместим со всеми *LPT* портами и предотвращает защелкивание порта от перегрузки по току.

В контроллере реализована функция *ChargePump* – логический аналог сигнала *ENABLE*. Срабатывание происходит не по логическому уровню 0/1 (как обычно), а по наличию/отсутствию частоты на входе блока. Блок обработки сигнала/функции *ChargePump* выполнен по следующей схеме: если на входе блока присутствует сигнал с некоторой частотой (мейндр 3–15 кГц), то на вы-

ходе появляется логическая единица. Если на входе нет частоты (присутствует постоянный уровень 0 или 5 В), то на выходе блока – логический ноль. Выход блока подключен к *ENABLE* контроллера. Такое управление позволяет обезопасить станок от «зависания» программы управления (если программа «зависнет», то генерация частоты автоматически прекратится и драйвер отключится). Кроме этого, функция *ChargePump* позволяет исключить произвольное включение/выключение реле и драйверов ШД при перезагрузке ПК (состояние *LPT* порта при загрузке ПК не контролируется). Следовательно, контроллер находится в рабочем состоянии только при успешно запущенной и работоспособной программе управления станком с ЧПУ.

Контроллер имеет встроенные цепи защиты от коротких замыканий обмоток ШД, превышения напряжения питания, подключения напряжения питания неправильной полярности, а также имеет встроенный дампер (устройство компенсации обратной ЭДС от ШД).

Отличительной особенностью контроллера является встроенный автоматический компенсатор среднечастотного резонанса ШД, который при приближении скорости работы ШД к области среднечастотного резонанса переводит ШД в микрошаговый режим, тем самым предотвращая возникновение резонанса. После прохождения резонансной области ШД переводится в пошаговый или полушаговый режим работы.

Контроллер после 1 с простоя (отсутствие сигнала *STEP*) автоматически входит в режим удержания ротора ШД установленным током (режим *AUTO-SLEEP*).

Контроллер работает с любыми двух и четырёхфазными гибридными как биполярными, так и униполярными шаговыми двигателями (4, 6 и 8 выводов) с номинальным током до 3 А на фазу.

Универсальный контроллер позволяет управлять четырьмя координатами рабочего органа и имеет два управляемых реле для подключения внешних высоковольтных силовых нагрузок. Контроллер можно использовать для управления в различных многокоординатных системах (фрезерных станках с ЧПУ, гравёрах, лазерных резаках и т. п.). В контроллере реализована функция микрошага, т. е. деление шага двигателя за счёт ШИМ регулирования тока в обмотках двигателя. Использование микрошага позволяет значительно снизить вибрации ротора ШД и повысить точность позиционирования системы.

Универсальный контроллер поддерживает также управление частотным преобразователем (регулировка оборотов шпинделья, конвертор ШИМ напряжения) от ШИМ сигнала программы управления и имеет встроенный регулируемый таймер

(регулируются время и длительность срабатывания реле) для коммутации помпы СОЖ.

Конструктивно модуль контроллера состоит из коммутирующей платы, на которой установлены драйверы ШД. Каждый драйвер способен коммутировать до 3 А/30 В и позволяет осуществлять деление шага на 1/2/8/16, имеет переключатели установки рабочего тока и тока удержания, индикатор рабочего режима и режима ошибки. Модуль имеет пять оптоизолированных входов для подключения концевых выключателей и кнопки экстренного останова (*E-STOP*).

Разработанный универсальный контроллер успешно прошёл предварительные испытания при управлении макетным образцом мехатронного объекта, представляющего собой двухкоординатный графопостроитель на основе ШД типа *DUNAZUN 4SHG-023A* в лабораторных условиях кафедры «АПП» КарГТУ.

### **Библиографические ссылки**

1. Мачульский И.И., Запятой В.П. и др. Робототехнические системы и комплексы / Под ред. И.И. Мачульского. М.: Транспорт, 1999. 464 с.
2. Андрианов Ю.Д., Глейзер Л.Я., Игнатьев М.Б. и др. Управляющие системы промышленных роботов / Под общ. ред. И.М. Макарова. М.: Машиностроение, 1984. 288 с.
3. Кенио Такаши. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1987. 199 с.
4. Тихомиров Э.Л., Васильев В.В. и др. Микропроцессорное управление электроприводами станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
5. Каракулин Е.М. К проблеме резонанса шагового двигателя // Тр. Междунар. науч. конф. «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан–2030» (Сагиновские чтения № 3). Ч. 3. Караганда. Изд-во Карагандинского политехнического университета, 2011. С. 153–155.



**Цена 10 000 р.**

## **ВЫШЕЛ В СВЕТ СПРАВОЧНИК "КОВКА И ШТАМПОВКА"**

**В четырех томах**

Председатель редакционного совета Е.И. Семенов,  
засл. деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук, проф.  
Издание 2-е, исправленное и дополненное. 2010. 2521 с. ISBN 978-5-217-03459-8

**Том 1.  
МАТЕРИАЛЫ И НАГРЕВ. ОБОРУДОВАНИЕ. КОВКА**



**Том 2.  
ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА**



**Том 3.  
ХОЛОДНАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА.  
ШТАМПОВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ**



**Том 4.  
ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА**



107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; e-mail: [realiz@mashin.ru](mailto:realiz@mashin.ru)

Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98

и на сайте [WWW.MASHIN.RU](http://WWW.MASHIN.RU)



УДК 658.512

Т. Толмачёва (ООО «Сиско системс», г. Москва)

apalladi@cisco.com

## ГОРОДА БЕРУТСЯ ЗА УМ

*Приводится анализ негативных процессов в сложной инфраструктуре и жизнедеятельности современных мегаполисов. Описываются пути преодоления возникающих проблем путём создания и развития «умных» городов.*

**Ключевые слова:** городская инфраструктура, экологическая устойчивость, экономическая целесообразность, «умный» город.

*The negative processes analysis in difficult infrastructure and activity of modern megalopolises is adduced. Arising problems overcoming ways by the «smart» cities creation and development urban are described.*

**Key words:** urban infrastructure, ecological steadiness, economic expediency, «smart» city.

Более половины жителей земли проживают в городах. Города потребляют порядка 75% мировых ресурсов и в такой же пропорции вырабатывают отходы. Власти сталкиваются с целым рядом проблем, так как городские ресурсы ограничены и имеют тенденцию к сокращению. Как правило, по мере роста и развития городов к старым проблемам добавляются новые.

По данным *UN-HABITAT* (The United Nations Human Settlements Programme – Программа Организации Объединённых Наций по населенным пунктам, ООН-Хабитат) население в крупных городах развивающихся стран увеличивается ежемесячно на 5 млн. человек. Другим значительным демографическим процессом является миграция населения из сельской местности в город. В настоящее время в развивающихся странах темпы роста численности населения превышают скорость развития инфраструктуры. Прямыми следствием этого становятся высокий уровень выхлопных газов, нехватка общественного транспорта, загрязненный воздух, загрязнение и низкое качество водоснабжения, низкий уровень безопасности как для жителей, так и для приезжих. Некоторые города сталкиваются с проблемой депопуляции населения.

Для крупных городов в развитых странах характерен дисбаланс между рынками коммерческой и жилой недвижимости, что приводит к процессам джентрификации (от франц. Genterise, gentilise — благородные люди), когда реконструкция отдельных кварталов городов, привлекательных с точки зрения истории или экологии, про-

водится для последующего поселения здесь состоятельных людей. В таких городах также активно осваивается пригородная зона, в результате чего заметно растёт дорожное движение.

Города могут столкнуться как с проблемой роста (высокая плотность жителей, отсутствие доступного жилья, перенаселенность, нагрузка на транспортную проблему), так и с проблемой упадка и депопуляции (упадок жилого фонда и транспортной системы, отток населения, снижение налоговых поступлений и экономической активности).

Все эти проблемы обостряются на фоне сокращения финансирования социальной сферы, что заставляет «предоставлять больше за меньшее» и стимулирует появление новых моделей управления, например таких, как частно-государственное партнёрство.

Выходом из этой ситуации может быть строительство и развитие «умных» городов.

Из факторов, стимулирующих эти процессы, главными являются:

стратегический фокус на сокращение выбросов углекислого газа;

давление на систему услуг для граждан, обусловленное демографическими сдвигами, старением населения, ростом численности городского населения;

текущая мировая финансовая ситуация, ограничивающая возможности финансирования бюджетной сферы;

продолжающееся давление на транспортную инфраструктуру, усугубляемое ростом населения, активным развитием пригородов, увеличением

автопарка и протяжённости маршрутов от работы до места жительства;

реализация региональных программ экономического развития, направленных на повышение конкурентоспособности регионов и развитие цифровых индустрий;

рост ответственности за качество водоснабжения и водоотведения, эксплуатацию дорог, организацию сбора и удаления отходов.

Строительство «умных» городов с нуля – наиболее выигрышный путь демонстрации всех преимуществ технологических решений. Но сложность заключается в том, что большинство жителей уже проживают в городах, где просто необходима модернизация инфраструктуры. Однако внедрение «умных» решений является чрезвычайно сложной задачей для городских властей. Существует огромное количество институциональных и организационных барьеров на пути использования в городах новых технологий.

Концепция «умного» города – это набор инициатив. Определение «умного» города не имеет единой трактовки. Существует много разных терминов: «интеллектуальный» город, «цифровой» город и пр., однако общим в сути этих определений является следующее: экологическая устойчивость, экономическая целесообразность, эффективное расходование средств.

**Строительство «умных» городов «с нуля» или модернизация старых городов?** В классификации проектов по этому принципу прослеживаются явные географические особенности. В Юго-Восточной Азии и на Ближнем Востоке реализован ряд проектов строительства «умных» городов с нуля. Ярким примером тому служат города Сонгдо в Южной Корее и Масдар в ОАЭ. В этих городах активно используются телекоммуникационная инфраструктура и информационные технологии, инновационное проектирование для реализации экологических, социальных и экономических целей. Внедрение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и развёртывание соответствующей инфраструктуры (ИКТ-инфраструктуры) планировалось на этапе проектирования города.

Строительство «умных» городов в Европе и Америке осуществлялось на базе существующей инфраструктуры. В этом случае применение интегрированного подхода намного сложнее, т. к. в городах уже имеются системы, реализующие функции жизнеобеспечения. Часто в существующих городах «интеллектуальные» инициативы исходят от жителей или предпринимателей. Тем не менее известны случаи строительства «умных» городов с нуля и в Европе, например PlanIT Valley в северной Португалии.

### **Инициатива строительства «сверху» или «снизу».**

Инициативы строительства «умных» городов могут исходить как «сверху», так и «снизу». Разница в моделях обычно проявляется в подходах, которые можно условно назвать «жёстким» (предполагает мониторинг, централизованный контроль) и «свободным» (предполагает вовлечённость граждан, изменение поведенческих моделей и снятие барьеров). Парадигма модели «сверху» предусматривает систему планирования всего города, включая физические активы. Парадигма модели «снизу» – это открытая платформа, которая поддерживает создание модулей и различных приложений, а также доступ к ней других участников. В качестве примера модели «сверху» можно назвать систему водоснабжения Сингапура, где на государственном уровне было принято решение внедрить систему подключённых к сети счётчиков для предотвращения утечек воды. Примером модели «снизу» служит программа Ecomar в Амстердаме, которая сличает данные со счётчиков и других баз данных для создания приложений и информационных порталов (мэшап).

Существуют программы, финансируемые и координируемые ЕС и направленные на вовлечение граждан в проекты по созданию «умных» городов. В качестве примера можно привести проект SMARTIP (Smart Metropolitan Areas Realized Through Innovation and People), координируемый Манчестерским агентством цифрового развития (Manchester Digital Development Agency).

С точки зрения внедрения ИКТ, проекты «с нуля» позволяют достичь большего в более короткие сроки. Использование инновационных технологий приносит ощутимые результаты и вдохновляет на дальнейшее развитие ИКТ-инфраструктуры. Тем не менее реализация таких проектов ограничена масштабами городских поселений. Например, город Masdar в ОАЭ рассчитан на 50 тыс. резидентов, что несопоставимо с городами-миллионниками.

С другой стороны, модернизация существующих городов также имеет свои ограничения: заменить существующие городские системы иногда практически невозможно, потому что на них зиждется городское хозяйство.

К счастью, сегодня существует ряд технологий, способствующих решению проблем городского хозяйства:

развитие IP-сетей, ставших основой для предоставления услуг гражданам;

TelePresence и видеоконференции;

программные приложения mashup, объединяющие данные из нескольких источников в один, и программный интерфейс прикладных задач (API – application programming interface);

смартфоны;

технологии позиционирования (GPS, Глонасс); камеры и обработка изображений; технологии M2M (machine-to-machine) и счётчики/считывающие устройства;

технологии радиочастотной идентификации и NFC (беспроводная связь ближнего радиуса действия);

технологии «дополненной реальности» на мобильных устройствах.

**Новые бизнес-модели.** Распространение облачных и SaaS-моделей среди организаций, подразумевающих использование организациями оборудования и ПО, которое им не принадлежит.

Mashup-модели, которые позволяют использовать имеющуюся в различных базах данных и источниках информацию при создании новых инновационных сервисов и приложений.

Крауд-сорсинг (crowdsourcing) и ПО с открытым исходным кодом позволяют привлекать более широкие массы к развитию контента и ПО.

Частно-государственное партнерство как новая форма реализации инфраструктурных проектов.

**Помехи развитию «умных» городов.** Несмотря на развитие и распространение технологий, прогресс в сфере строительства «умных» городов во всем мире пока еще относительно скромен. Основной барьер – это ограниченные возможности муниципальных властей. Большинство администраций городов не имеют достаточных полномочий или ресурсов для реализации полномасштабных цифровых проектов. Например, во Франции, Испании, США муниципальные власти имеют право формировать свою политику в рамках сво-

их географических границ. В Великобритании же власти практически не имеют возможности напрямую влиять на городское планирование.

Ограниченные бюджеты, географические границы, организационная структура, политические ограничения, полномочия – всё это может препятствовать реализации программы модернизации. Другой проблемой может стать отсутствие соответствующей экспертизы или осознания необходимости инноваций, а подчас даже боязнь таких перемен.

Вместе с тем уже можно констатировать, что «умные» города становятся реальностью. Есть десятки примеров реализации концепции «умных» городов – например, Неаполис (Кипр), Сонгдо и Инчхон (Южная Корея), Джазан (Саудовская Аравия), Лаваса (Индия), Уси, Хушань, Донгтан (Китай), Масдар (ОАЭ), Долина PlanIT (Португалия). И этот процесс будет продолжаться.

Компания Cisco активно продвигает концепцию «умного» города и уже реализовала ряд проектов по строительству «умных» и подключённых сообществ (Smart+Connected Communities, S+CC). Городские власти в разных странах мира выбрали решения Cisco в качестве главной составляющей своих программ по городскому планированию. Подразделение консультационных услуг в области перспективных технологий Cisco (Cisco Emerging Solutions Advisory) принимало активное участие в разработке мастер-планов ИКТ для таких проектов, как сообщество Rampart's Avenir в Эдмонтоне (Канада), города Сонгдо и Инчхон в Южной Корее, центр инноваций в районе 22@ (пригород Барселоны) и многие другие.



## РЕЗЬБОНАКАТЫВАНИЕ. (*Библиотека технолога*)

**А.В. Киричек, А.Н. Афонин**

2009. – 312 с. ISBN: 978-5-94275-428-0

**Цена 550 р.**

В книге описаны существующие резьбы и способы их изготовления, приведены конструкция и основные характеристики резьбонакатного оборудования и технологической оснастки для накатывания резьб, конструкция и методики проектирования резьбонакатного инструмента, технология накатывания резьб, требования к заготовкам под накатывание и режимам обработки.

Книга предназначена для инженерно-технических работников и специалистов промышленных предприятий, может быть полезна студентам, аспирантам и научным работникам.

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

УДК 004.942

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

anna-yanish@mail.ru

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ПЕРЕГРУЖЕННЫХ СИСТЕМАХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

*Рассмотрены мультиклассовые системы массового обслуживания как модель сети с коммутацией пакетов. Описана система массового обслуживания, в которой присутствует последовательность буферов запросов. Предложено исследование максимальной пропускной способности сети.*

**Ключевые слова:** компьютерная сеть, алгоритм, математическая модель.

*Multi-class mass service systems as a network model with packet switching network are considered. Mass service system with requests buffers sequence is described. Network maximum throughput ability is researched. Each user behavior is characterized by his personal efficiency function.*

**Key words:** computer network, algorithm, mathematical model.

В работе рассмотрено функционирование систем массового обслуживания (СМО) с ограничением, при котором они становятся перенасыщенными. При сквозном контроле движения пакетов механизм маршрутизации с полосой пропускания позволяет решить задачу оптимизации эффективности обслуживания.

Метод распределения ресурсов [1] для оптимизации эффективности можно представить в форме задачи линейного программирования (ЗЛП):

$$\text{максимизировать } \sum_{i \in I} U_i(\Lambda_i) \quad (1)$$

$$\text{при } \sum_{i:j \in I} \Lambda_i \leq C_j, j \in J, \quad (2)$$

$$\text{при } \Lambda_i \geq 0, i \in I, \quad (3)$$

где  $U_i$  — возрастающая вогнутая функция эффективности с производной, удовлетворяющей условию  $U'_i(\Lambda_i) \rightarrow \infty$  при  $\Lambda_i \rightarrow 0$ ,  $\Lambda_i$  — ширина полосы пропускания;  $J$  — множество ресурсов;  $C_j$  — ограниченный запас ресурса  $j$ ;  $I$  — набор маршрутов сети.

Назовем эту оптимизационную задачу системной задачей.

В работе [1] было дано понятие пропорционального равноправия в качестве решения оптимизационной задачи:

$$\text{максимизировать } \sum_{i \in I} \bar{m}_i \log \Lambda_i \quad (4)$$

$$\text{при } \sum_{i:j \in I} \Lambda_i \leq C_j, j \in J, \quad (5)$$

$$\text{при } \Lambda_i \geq 0, i \in I. \quad (6)$$

Эту задачу назовём сетевой или пропорционально справедливой оптимизационной задачей. Кроме этого, в работе [1] было предложено объединённое решение сетевой задачи и следующих задач пользователя для каждого  $i \in I$ :

$$\begin{aligned} &\text{максимизировать } U_i\left(\frac{\bar{m}_i}{q_i}\right) - \bar{m}_i \\ &\text{при } \bar{m}_i \geq 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Это объединённое решение основано на отношении

$$\bar{m}_i = \Lambda_i q_i, i \in I, \quad (8)$$

где  $q_i = \sum_{j \in I} q_j$  и  $(q_j : j \in J)$  — множители Лагранжа, являющиеся платежами за передачу трафика через сеть;  $\bar{m}_i$  — сумма, которую пользователь  $i$  готов заплатить в единицу времени.

Теорема 2 Келли, основанная на выражении (8) даёт решение системной задачи. Этот вывод был приведён с целью обоснования правильности оптимизации и равноправия методами сквозного контроля трафика в сети. Результат предоставляет метод декомпозиции системной задачи на задачу пользователя, которая зависит от параметра  $q_i$ , и сетевую задачу, зависящую от параметра  $\bar{m}$ . Интерпретируя это в контексте коммуникационной сети, получим отдельно целевую функцию пользователей, представленную сквозным соединением и предпочтаемым оптимальным поведением сети. В работе [1] решение представлено множеством цен  $(q_j : j \in J)$  передачи трафика через сеть. Из этого множества каждый пользователь  $i \in I$  выбирает сумму  $\bar{m}_i$ , которую он

готов заплатить в единицу времени. Отсюда получаем необходимую пользователю ширину полосы пропускания  $\Lambda_i = \frac{\bar{m}_i}{q_i}$ .

Можно использовать асимптотическое поведение мультиклассовых СМО для выражения сетевой задачи (4)–(6). Зададим параметры  $(\bar{m}_i : i \in I)$ , представляющие собой число пакетов на каждом маршруте этой сети. Предположим, что значения  $(\bar{m}_i : i \in I)$  записаны и контролируются окнами загрузки. В статье для каждого маршрута окно загрузки позволяет посыпать пакеты соответствующей доступности маршрута, которая является функцией количества пакетов на данном маршруте. Назовём такую систему очередей и окон загрузок системой массового обслуживания.

Необходимо связать окна загрузки в СМО с задачей пользователей (7), напоминающей трансформацию Лежандра–Фенчела. Теорема Гарднера–Эллиса [2] имеет отношение к большим отклонениям поведения последовательностей случайных переменных преобразования Лежандра–Фенчела. Таким образом, контролируя размер окна загрузок при ограничении больших отклонений и имея результат этого преобразования, можно связать функцию эффективности с последовательностью окон загрузок. Интерпретируем каждое окно загрузок в этой последовательности в качестве отклика контроллера загрузок на уровень загруженности СМО. Более подробно рассмотрим это ниже.

В СМО отношение (8) соответствует закону Литтла, т. е. ожидаемое число пакетов на маршрутах равно ожидаемому времени пребывания пакетов в мультиклассовой сети, умноженному на число пакетов, посланных для обслуживания в эту систему.

Очереди и окна загрузок, описанные в СМО, квазиобратимы. Таким образом, как описывает теорема 1, стандартная обратимость результатов может быть применена для расчёта стационарных распределений этих СМО. Опишем стационарные СМО, связанные с особой последовательностью окон загрузок. При этом ограничении больших отклонений стационарных распределений этой последовательности СМО не наблюдается, поэтому для этих СМО асимптотически выполняется теорема 2 из работы [4]:

$$\max_{\Lambda \in \mathbf{R}_+^I} \sum_{i \in I} U_i(\Lambda_i)$$

$$\text{при условии } \sum_{i:j \in i} \Lambda_i \leq C_j, j \in J.$$

Ниже докажем, что стационарный тариф пакетов переданных через эти СМО, сводится к решению системной задачи  $(\Lambda_i^* : i \in I)$ .

Вместо интерпретации параметров  $q$  и  $\bar{m}$  в качестве цен и ценности за единицу времени интерпретируем их как количество полных обходов и размер окна загрузок. В дополнение, анализ больших отклонений, приведённый в статье, приводит к аналогии с теорией эффекта частот. Было обнаружено, что каждая функция эффективности должна удовлетворять условию экспоненциальной вогнутости, т. е. отображение  $\lambda \mapsto U_i(e^\lambda)$  вогнуто.

*Обозначения и запись.* Зададим конечное множество индексов очередей в сети  $J_{ind}$ . Пусть  $J = |J_{ind}|$ . Маршрут через сеть — непустое подмножество очередей. Обозначим множество маршрутов через  $I_{ind}$  и  $I = |I_{ind}|$ . Для каждого маршрута  $i = \{j_1^i, \dots, j_{k_i}^i\}$  зададим порядок  $(j_1^i, \dots, j_{k_i}^i)$ . Также определим множество очерёдно-маршрутных инциденций:  $K_{ind} = \{(j, i) \in J_{ind} \times I_{ind} : j \in i\}$  и зададим  $K = |K_{ind}|$ .

Такая мультиклассовая СМО будет проводить пакеты через сеть очередей и окон загрузок. Для каждого маршрута существует окно загрузок. Пусть размер окна  $\bar{m}_i$  будет соответствовать числу пакетов в окне загрузок  $i \in I_{ind}$ . Каждая очередь  $j$  обрабатывает пакеты на маршруте  $i \in I_{ind}$  с  $j \in i$ . Пусть  $m_{ji}$  — число пакетов в очереди  $j$ . Также зададим числа пакетов в очереди  $j$ :

$$m_j = \sum_{i:j \in i} m_{ji}, j \in J_{ind}. \quad (6)$$

Каждое окно загрузок записывает число посланных, но пока не полученных пакетов в СМО:

$$\bar{m}_i = \sum_{j \in i} m_{ji}, i \in I_{ind}. \quad (7)$$

Используем параметры  $\bar{m} = (\bar{m}_i : i \in I_{ind}) \in \mathbf{Z}_+^I$  и  $m = (m_{ij} : (j, i) \in K_{ind}) \in \mathbf{Z}_+^K$ , чтобы обозначать число пакетов в окне загрузок и очередях.

В дополнение для параметра  $m \in \mathbf{Z}_+^K$  определим значения

$$\binom{m_j}{m_{ji} : i \ni j} = \frac{m_j!}{\prod_{i:j \in i} (m_{ji}!)}$$

Для векторов  $x \in \mathbf{R}_+^D$  и  $\phi \in \mathbf{R}_+^D$  задана евклидова норма  $x$ :  $\|x\| = (\sum_{d=1}^D x_d^2)^{1/2}$ . Меньшая целая часть каждого компонента  $x$ :  $\lfloor x \rfloor = (\lfloor x_d \rfloor : d = 1, \dots, D)$ . Определим скалярное произведение векторов  $\phi$  и  $x$ :  $\phi \cdot x = \sum_{d=1}^D \phi_d x_d$ .

Окна загрузок хранят записи о числе посланных, но ещё не полученных пакетов в СМО. Модели окон загрузок, описанные в статье обратимы

и, таким образом, ведут к продуктивным результатам, когда организованы в сеть [1, 3]. В сравнении с очередью окно загрузок имеет противоположную реакцию на события прибытия и отправки: по прибытии непустое окно уменьшает свой размер, а при отправке размер увеличивается.

Окно загрузок ( $\bar{M}_i(t) : t \in \mathbf{R}_+$ ) во время изоляции от сети определим как непрерывную цепь Маркова над множеством  $\mathbf{Z}_+$  (множеством положительных целых чисел) с коэффициентом перехода

$$q(\bar{m}_i, \bar{m}'_i) = \begin{cases} g_i(\bar{m}_i) & \text{если } \bar{m}'_i = \bar{m}_i + 1, \\ \Lambda_i & \text{если } \bar{m}'_i = \bar{m}_i - 1, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Обратимся к переходу  $\bar{m}_i \mapsto \bar{m}_i + 1$  как отправному событию. Для  $\bar{m}_i > 0$  переход  $\bar{m}_i \mapsto \bar{m}_i - 1$  является отправным событием или подтверждением прибытия пакета. Для дальнейшего изложения будет удобно задать  $\Lambda_i = e^{\lambda_i}$  и  $g_i(\bar{m}_i) = e^{G_i(\bar{m}_i+1) - G_i(\bar{m}_i)}$ , где  $\lambda_i \in \mathbf{R}$  и  $G_i : \mathbf{R}_+ \mapsto [-\infty, \infty)$  – вогнутая функция. Таким образом, окно загрузок определено с помощью константы  $\lambda_i$  и вогнутой функции  $G_i$ .

*Утверждение 1.* Стационарное окно загрузок обратимо с инвариантом

$$\pi_i(\bar{m}_i) = e^{G_i(\bar{m}_i) - \lambda_i(\bar{m}_i)}, \bar{m}_i \in \mathbf{Z}_+. \quad (11)$$

*Доказательство.* Результат следует из уравнения баланса:

$$\begin{aligned} \pi_i(\bar{m}_i) &= e^{G_i(\bar{m}_i) - G_i(\bar{m}_i-1) - \lambda_i} \pi_i(\bar{m}_i-1) = \dots = \\ &= e^{G_i(\bar{m}_i) - \lambda_i \bar{m}_i} \pi_i(0). \end{aligned}$$

*Большие отклонения.* Скорость отправления пакетов в сеть с помощью окна загрузок определена размером окна загрузки и уровнем загрузки всей сети. Обозначим размер окна загрузок  $\bar{m}_i$ , загрузки всей сети –  $c \in \mathbf{N}$ . Для  $c \in \mathbf{N}$  определим последовательность окон загрузок и изучим большие отклонения поведения от их стационарного распределения.

Для каждого значения  $c \in \mathbf{N}$  пусть  $\bar{M}_i^{(c)}$  будет стационарным окном загрузок, заданным через параметр  $\lambda_i$  и функцию  $G_i^{(c)}(\cdot)$ , где  $G_i^{(c)}(k) = cG_i\left(\frac{k}{c} + \frac{d_i^{(c)}}{c}\right)$ ,  $G_i$  – строго вогнутая функция, дифференцируемая на интервале  $(0, \infty)$  с производной, принимающей значения из промежутка  $(-\infty, \infty)$ , и  $\{d_i^{(c)}\}_{c \in \mathbf{N}}$  – ограниченная последовательность со значениями из  $\mathbf{R}$ . Определим выпуклую функцию  $G_i^* : \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$  из функции  $G_i$  с помощью преобразования Лежандра–Фенчела  $G_i^*(\lambda_i) = \max_{\bar{m}_i \in \mathbf{R}_+} \{G_i(\bar{m}_i) - \lambda_i \bar{m}_i\}$ . Также определим значения  $\bar{m}_{\lambda_i}^* = \arg\max_{\bar{m}_i \in \mathbf{R}_+} \{G_i(\bar{m}_i) - \lambda_i \bar{m}_i\}$ .

*Утверждение 2.*

$$1) \lim_{c \rightarrow \infty} \frac{1}{c} \log \sum_{k=0}^{\infty} e^{G_i^{(c)}(k) - \lambda_i k} = G_i^*(\lambda_i), \lambda_i \in \mathbf{R}_+.$$

2) Для  $\bar{m}_i \in (0, \infty)$  и ограниченной последовательности  $\{\bar{\sigma}_i^{(c)}\}_{c \in \mathbf{N}}$  такой, что  $c\bar{m}_i + \bar{\sigma}_i^{(c)} \in \mathbf{Z}_+$ , существует предел:

$$\begin{aligned} \lim_{c \rightarrow \infty} \frac{1}{c} \log \mathbf{P}(\bar{M}^{(c)} = c\bar{m}_i + \bar{\sigma}_i^{(c)}) &= \\ &= G_i(m_i) - \lambda_i - G_i^*(\lambda_i). \end{aligned}$$

Предположим, что при  $c \rightarrow \infty$  состояние окна загрузок приближённо выражено произведением  $c\bar{m}_i^*$ . Тогда исходящий поток из окна загрузок приблизительно равен

$$\begin{aligned} g_i^{(c)}(c\bar{m}_i^*) &\approx \exp \{G_i(\bar{m}_i^* + \frac{1}{c}) - G_i(\bar{m}_i^*)\} / \\ &/ \frac{1}{c} \xrightarrow[c \rightarrow \infty]{} e^{G_i'(\bar{m}_i^*)}. \end{aligned}$$

Когда состояние стационарно, средний исходящий поток пакетов из окна загрузок равен среднему входящему потоку. Таким образом, получим, что  $G_i'(\bar{m}_i^*) = \lambda_i$  или  $\bar{m}_i^* = \arg\max_{\bar{m}_i \in \mathbf{R}_+} \{G_i(\bar{m}_i) - \lambda_i \bar{m}_i\}$ .

С помощью этой двойственности и правильно-го выбора  $G_i$  можно контролировать поток пакетов от окна загрузок и оптимизировать функцию эффективности.

*Оптимизация эффективности.* Скорость прибытия пакетов в окно загрузок  $\Lambda_i = e^{\lambda_i}$ , таким образом, эффективность, связанная со значениями  $\lambda_i$ , выражается функцией  $U_i(e^{\lambda_i})$ . Для максимизации основной функции системной задачи необходимо определить функции эффективности пользователей  $U_i$  через следующую задачу пользователя:

$$-G_i(\bar{m}_i) = \max_{\lambda_i \in \mathbf{R}} \{U_i(e^{\lambda_i}) - \bar{m}_i \lambda_i\}, \bar{m}_i \in \mathbf{R}_+$$

и аналогично через двойственность преобразования Лежандра–Фенчела можно определить  $U_i$  через функцию  $G_i$  с помощью выражения

$$\begin{aligned} U_i(e^{\lambda_i}) &= \min_{\bar{m}_i \in \mathbf{R}_+} \{\lambda_i \bar{m}_i - G_i(\bar{m}_i)\} = -G_i^*(\lambda_i), \\ \lambda_i \in \mathbf{R}. \end{aligned} \quad (12)$$

Функция  $U_i(e^{\lambda_i})$  должна быть вогнутой, если  $G_i^*(\lambda_i)$  выпукла. Таким образом, в порядке оптимизации функции эффективности  $U_i$  необходимы следующие утверждения.

Если функция эффективности  $U_i$  экспоненциально вогнутая, тогда отображение  $\lambda_i \mapsto U_i(e^{\lambda_i})$  строго вогнутое над полем действительных чисел  $\mathbf{R}$ .

Предположим, что функция  $G_i$  определённая выражением (12) строго вогнутая, дифференцируема на интервале  $(0, \infty)$  с производной, принимающей любые значения из множества  $\mathbf{R}$ .

*Утверждение 3.* (Взвешенное  $\alpha$ -равноправие,  $\alpha > 1$ ). Взвешенное  $\alpha$ -равноправое семейство функций, определённое Мо и Волраном [5], связанное с семейством функций эффективности пользователей с изоэластичной эффективностью

$$U_i(\Lambda_i) = \begin{cases} \frac{w_i \Lambda_i^{1-\alpha}}{1-\alpha}, & \text{если } w_i \in \mathbf{R}_+, \alpha > 0, \alpha \neq 1, \\ w_i \log \Lambda_i, & \text{если } w_i \in \mathbf{R}_+, \alpha = 1. \end{cases}$$

*Мультиклассовые очереди с одним сервером.* Определим мультиклассовые очереди с одним сервером. Эти очереди описаны в работе [6]. Очередь  $j \in J_{ind}$  получает пакеты от классов из множества маршрутов  $\{i \in I_{ind} : j \in i\}$ . Пакеты занимают разные места в очереди и имеют экспоненциально распределенное значение необходимости обслуживания. Пусть в очереди  $j$  есть  $m_j \in \mathbf{Z}_+$  пакетов, пакеты занимают позиции  $1, \dots, m_j$ . Общее время обслуживания этих пакетов  $C_j \in (0, \infty)$ . Это фиксированное время затем делится между различными позициями в очереди. Часть  $\gamma_j(l, m_j)$  этого времени отдаётся пакету на позиции  $l = 1, \dots, m_j$ . После завершения обслуживания пакет на позиции  $l$  отправляется в очередь и пакеты на позициях  $l+1, \dots, m_j$  сдвигаются на позиции  $l, \dots, m_j-1$  соответственно. В этом разделе рассмотрено поступление пакетов маршрута  $i$  в очередь  $j$  как пускаконовский процесс с показателем  $\Lambda_i$ . По прибытии пакет будет помещён в позицию  $l = 1, \dots, m_j + 1$  с вероятностью  $\delta_j(l, m_j + 1)$  и пакеты, которые были в позиции  $l, \dots, m_j$ , сдвинутся в позицию  $l + 1, \dots, m_j + 1$ .

Пусть  $s^j = (i_1^j, \dots, i_m^j) \in I_{ind}^m$  для  $m_j > 0$  задаёт состояние очереди  $j$ ,  $T_{(j,l)}^i$  означает прибытие пакета класса  $i$  в позицию  $l$  в очереди  $j$  и  $T_{(j,l)}^i$  означает отправку пакета класса  $i$  в позицию  $l$ . Таким образом, состояние этой очереди формирует непрерывную цепь Маркова с вероятностями перехода, заданными следующим образом:

$$q(s^j, s'^j) = \begin{cases} \Lambda_i \delta_j(l, m_j + 1) & \text{для } s'^j = T_{(j,l)}^i s^j, \\ l = 1, \dots, m_j + 1, \\ C_j \gamma_j(l, m_j) & \text{для } s'^j = T_{(j,l)}^i s^j, \\ i_l^j = i, l = 1, \dots, m_j, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

*Квази обратимость и стационарное поведение.* Мультиклассовая очередь  $j \in J_{ind}$  с единственным сервером является квази обратимой, и  $(M_{ji} : i \in I_{ind}, j \in i)$  — стационарное число пакетов на маршруте  $i$  в очереди  $j$  имеет распределение

$$\mathbf{P}(M_{ji} = m_{ji}, \forall i \ni j) = \left( \frac{C_j - \sum_{i:j \in i} \Lambda_i}{C_j} \right) \times \left( \frac{m_j}{m_{ji} : i \ni j} \right) \prod_{i:j \in i} \left( \frac{\Lambda_i}{C_j} \right)^{m_{ji}} \quad (13)$$

для  $m_{ji} \in \mathbf{Z}_+$ , для каждого  $i \in I_{ind}$  такого, что  $j \in i$  и следующие условия стабильности выполняются:

$$\sum_{i:j \in i} \Lambda_i < C_j, j \in J_{ind}.$$

*Большие отклонения.* Для  $j \in J_{ind}$  пусть  $(M_{ji} : i \in I_{ind}, j \in i)$  имеет распределение (13).

1). Пусть  $m_j = (m_{ji} : i \in I_{ind}, j \in i)$  и  $\sigma^{j,(c)} = (\sigma_{ji}^{(c)} : i \in I_{ind}, j \in i)$   $c \in \mathbf{N}$  будет таким, что  $m_{ji} \in \mathbf{R}_+$ ,  $\sup_{c \in \mathbf{N}} \|\sigma^{j,(c)}\| < \infty$  и  $c m_{ji} + \sigma_{ji}^{(c)} \in \mathbf{Z}_+ \forall i, j \in i$ , тогда

$$\lim_{c \rightarrow \infty} \frac{1}{c} \log \mathbf{P}(M_{ji} = c m_{ji} + \sigma_{ji}^{(c)}, \forall i \ni j) = -\beta_j(m^j),$$

$$\text{где } \beta_j(m^j) = \sum_{\substack{i:j \in i \\ m_j > 0}} m_{ji} \log \frac{m_{ji} C_j}{m_j \Lambda_i}.$$

2). Функция  $\beta_j(m_j)$  непрерывная, выпуклая, и тогда

$$\inf_{m^j \geq 0} \beta_j(m^j) = \begin{cases} 0 & , \text{ если } \sum_{i:j \in i} \Lambda_i \leq C_j, \\ -\infty & \text{иначе.} \end{cases}$$

Рассмотрим мультиклассовую СМО, а также различные источники трафика, которым соответствуют разные маршруты через эту сеть. С помощью окон загрузок маршруты контролируют статистические характеристики трафика на сквозном пути. Было обнаружено, что этот сквозной контрольный путь достаточен, чтобы достигнуть скорости передачи пакетов, приближённой к решению системной задачи (1)–(3).

В частности, если с маршрутом  $i$  связан порядок маршрутизации  $(j_1^i, \dots, j_{k_i}^i)$ , отправление из окна загрузок  $i$  будет обеспечено прибытием в очередь  $j_1^i$ . Кроме того, отправление пакета маршрута  $i$  из очереди  $j_k^i$ ,  $k_i = 1, \dots, k_i - 1$  обеспе-

чит прибытие в очередь  $j_{k+1}^i$ , и таким же образом отправление пакета маршрута  $i$  из очереди  $j_{k_i}^i$  обеспечит прибытие в окно загрузок  $i$ . Таким образом, пакеты, отправленные через сеть, проходят свой маршрут и достигают пункта назначения.

Опишем состояние СМО более подробно. Пусть  $s_j = (i_1^j, \dots, i_{m_j}^j)$  является записью состояния очереди  $j$  и  $s = (s^j : j \in I_{ind})$  – запись состояния СМО. Кроме того, обозначим  $\bar{m}_i$  запись состояния окна загрузок. Пусть величины  $\underline{s} = (s, \bar{m})$  представляют собой запись подробного состояния СМО. Теперь определим переходы. Пусть  $\underline{s} \mapsto T_{(j, i)}^i \underline{s}$  определяет переход, соответствующий тому, что пакет маршрута  $i$  покидает окно загрузок и прибывает в позицию  $l$  очереди  $j$ ;  $\underline{s} \mapsto T_{(j, i), (j', l')}^i \underline{s}$  означает отправление пакета маршрута  $i$  из позиции  $l$  очереди  $j$  и прибытие в позицию  $l'$  очереди  $j'$ . Переход  $\underline{s} \mapsto T_{(j, l)}^i \underline{s}$  означает отправление пакета маршрута  $i$  из позиции  $l$  очереди  $j$  и прибытие в окно загрузок  $i$ .

Описываемая СМО будет непрерывной по времени цепью Маркова со следующими вероятностями перехода:

$$q(\underline{s}, \underline{s}') = \begin{cases} g_i(\bar{m}_i) \delta_j(l, m_j + 1) & \text{для } \underline{s}' = T_{(j, l)}^i \underline{s}, \\ j = j_1^i, l = 1, \dots, m_{j+1}^i; \\ C_j \gamma_j(l, m_j) \delta_{j'}(l', m_{j'} + 1) & \text{для } \underline{s}' = T_{(j, l), (j', l')}^i \underline{s}, j = j_k^i, j' = j_{k+1}^i, \\ k = 1, \dots, k_i - 1, i_l^j = i, l' = 1, \dots, m_{j'} + 1; \\ C_j \gamma_j(l, m_j) & \text{для } \underline{s}' = T_{(j, l)}^i \underline{s}, \\ j = j_{k_i}^i, i_l^j = i; \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases} \quad (14)$$

Зададим параметр  $m = (m_{ji} : (j, i) \in K)$ , обозначающий запись числа пакетов маршрута  $i$  в очереди  $j$ . Выражения для параметров  $m_j$  и  $\bar{m}_i$ , (9) и (10) – числа пакетов в каждой очереди и каждом окне загрузок. Определим функцию  $G_i$  через функцию  $g_i$  с помощью выражения  $g_i(\bar{m}_i) = e^{G_i(\bar{m}_i+1)} - e^{G_i(\bar{m}_i)}$ .

*Квази обратимость и стационарное поведение.* Из утверждения 1 (11) и выражения (13) следует, что СМО состоит из сети квази обратимых узлов. Таким образом, как описано у Келли [7], сети из квази обратимых узлов имеют стационарное распределение, которое описывается произведением определений (11) и (13).

*Теорема 1.* Для стационарной СМО, определенной вероятностями перехода (14), пусть  $M = (M_{ji} : (j, i) \in K)$  запись стационарного числа па-

кетов каждого маршрута в каждой очереди, тогда  $M$  имеет распределение

$$\mathbf{P}(M = m) = \frac{1}{B_G} \prod_{j \in I_{ind}} \binom{m_j}{m_{ji} : i \ni j} \frac{1}{C_j^{m_j}} \times \prod_{i \in I_{ind}} e^{G_i(\bar{m}_i)}, \quad m \in \mathbf{Z}_+^K, \quad (15)$$

$$\text{где } B_G = \sum_{m \in \mathbf{Z}_+^K} \prod_{j \in I_{ind}} \binom{m_j}{m_{ji} : i \ni j} \frac{1}{C_j^{m_j}} \times \prod_{i \in I_{ind}} e^{G_i(\bar{m}_i)}.$$

Заметим, что распределение  $\mathbf{P}(M = m)$  это не-продуктивная форма стационарного распределения, потому что необходимо ограничение  $\bar{m}_i = \sum_{j \in i} m_{ji}, \forall i \in I_{ind}$ .

Теперь рассмотрим большие отклонения в стационарном распределении пакетов в СМО. Зададим последовательность окон загрузок, перегружающих СМО, и изучим отклонения в поведении. Наиболее правдоподобное состояние СМО соотнесём с решением системной задачи.

Используем ту же запись, что и ранее. Последовательность окон загрузок определена выражением  $G_i^{(c)}(k) = c G_i\left(\frac{k}{c} + \frac{d_i^{(c)}}{c}\right)$  для  $i \in I_{ind}$ ,  $c \in \mathbf{N}$ . Здесь  $G_i$  выражены в терминах функций эффективности  $U_i$  с помощью выражения (12).

Определим функцию

$$\beta_{G,\lambda}(m, \tilde{m}) = \sum_{\substack{(j,i) \in K_{ind}: \\ m_{ji} > 0}} m_{ji} \log \frac{m_{ji} C_j}{m_j e^{\lambda_i}} - \sum_{i \in I_{ind}} \{G_i(\tilde{m}_i) - \lambda_i \bar{m}_i\}$$

для  $m \in \mathbf{R}_+^K$ ,  $\tilde{m} \in \mathbf{R}_+^I$  и  $\lambda_i \in \mathbf{R}^I$ . Будем использовать сокращённую запись  $\beta_G = \beta_{G,\lambda}$  для  $\lambda = 0$ , а также короткую запись  $\beta_G(m) = \beta_G(m, \tilde{m})$ , когда  $\tilde{m}_i = \sum_{j \in i} m_{ji}$  для всех  $i \in I_{ind}$ . Определим

$$\beta_G^* = \min \sum_{j \in I_{ind}} m_{ji} \log \frac{m_{ji} C_j}{m_j} - \sum_{i \in I_{ind}} G_i(\tilde{m}_i)$$

при условии, что  $\sum_j m_{ji} = \bar{m}_i$ ,  $i \in I_{ind}$  при  $m \in \mathbf{R}_+^K$ ,  $\tilde{m} \in \mathbf{R}_+^I$ .

Для каждого  $c \in \mathbf{N}$  полагаем, что стационарная СМО определена вероятностями перехода (14) с окнами загрузок, определёнными с помощью  $G_i^{(c)}(\cdot)$ ,  $i \in I_{ind}$ . Пусть  $M^{(c)} = (M_{ji}^{(c)} : (j, i) \in K_{ind})$  запись стационарного распределения числа пакетов на каждом маршруте в каждой очереди в СМО (15). Охарактеризуем отклонения от последовательности состояний в СМО с помощью следующей теоремы.

**Теорема 2.** Последовательность  $(\frac{M}{c})^{(\tilde{n})}$ ,  $c \in \mathbf{N}$  подчиняется принципу больших отклонений с функцией  $\beta_G(\cdot)$ . Тогда следующее выражение справедливо для всех  $D \subset \mathbf{R}_+^K$ :

$$\begin{aligned} -\inf_{m \in D} (\beta_G(m) - \beta_G^*) &\leq \liminf_{c \rightarrow \infty} \mathbf{P}^{(c)} \left( \frac{M^{(c)}}{c} \in D \right) \leq \\ &\leq -\inf_{m \in \bar{D}} (\beta_G(m) - \beta_G^*). \end{aligned}$$

**Выводы.** В своих работах другие авторы предлагаю решение системной задачи с помощью анализа дифференциальных уравнений. В этой статье было показано, что в этом же смысле можно использовать функции эффективности в системах массового обслуживания со сквозным контролем трафика.

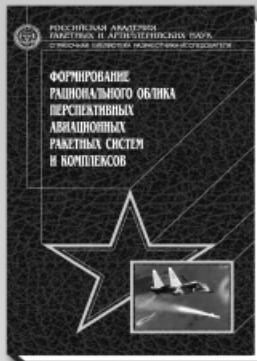
Количество информационных пакетов, которые могут быть отправлены в сеть, контролируется с помощью очередей, которые играют роль буферов запросов.

Показано, что стационарная пропускная способность маршрутов в такой сети сводится к распределению, которое максимизирует эффективность передачи до пропускной способности всей сети.

Такое семейство функций эффективности включает взвешенное  $\alpha$ -равноправное семейство функций эффективности для  $\alpha > 1$ .

#### Библиографические ссылки

1. Kelly F.P. Charging and rate control for elastic traffic. European Transactions on Telecommunications 8. 1997. P. 33–37.
2. Large Deviations Techniques and Applications. A. Dembo, O. Zeitouni. Springer, New York, 1998.
3. Johari R., Tan D.K.H. End-to-end congestion control for the internet: delays and stability. IEEE //ACM Transactions on Networking 9, 6, 2001. P. 818–832.
4. Asmussen S. Applied Probability and Queues. Springer, New York, 2003.
5. Mo J., Walrand J. Fair end-to-end window-based congestion control. IEEE/ACM Transactions on Networking 8, 2000. P. 556–567.
6. Kelly F.P. Reversibility and Stochastic Networks. Wiley, Chichester, 1979.
7. Kelly F.P. Networks of quasi-reversible nodes. Applied probability-computer science: the interface 1, 1989. P. 3–29.
8. Моляка А.С., Янишевская А.Г. Оптимальное размещение данных в сетях с фиксированным числом клиентов // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 1. С. 38–43.



## ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ОБЛИКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАКЕТНЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ. Справочная библиотека разработчика-исследователя.

**В.В. Панов, Г.И. Горчица, Ю.П. Балыко, О.В. Ермолин**

2010. 608 с. ISBN 978-5-217-03478-9

**Цена 500 р.**

Рассмотрены основные научно-методические аспекты формирования облика образцов авиационного ракетного оружия на этапах предпроектной и проектной разработки ракет.

Приведены методические приемы и способы решения теоретических задач на этапе формирования облика перспективных авиационных ракетных систем и комплексов, основные характеристики ракет и их оценки с позиций эффективности авиационных боевых комплексов (АБК), математические модели подсистем ракеты и основы проектирования ее облика, в том числе автоматизированного. Упор делается на изложение основополагающих идей, принципов построения и фундаментальных технических решений.

Книга рассчитана на научных сотрудников, руководителей среднего звена в структуре военных и промышленных организаций, занимающихся разработкой оружия, преподавателей военных академий, училищ и гражданских технических вузов.

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

УДК 338.24

**В.Л. Белоусов**, д-р экон. наук, проф., **В.Е. Вершин**, канд. техн. наук, **О.В. Вершин**  
(Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, г. Москва)

oleg\_v@bk.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ГРАФИКОВ К АНАЛИЗУ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДСТВА

*Предложено в качестве одного из инструментов анализа экономической эффективности производства использовать трёхмерные графики, отображающие его основные экономические свойства. Кратко изложены принципы построения графиков, выполнен обзорный анализ рассмотренных в статье поверхностей, показаны отличия в их характере, определяемые используемыми для управления предприятиями методами управления (принципами достижения максимума прибыли).*

**Ключевые слова:** экономический анализ, производство, трёхмерный график, примеры трёхмерных поверхностей.

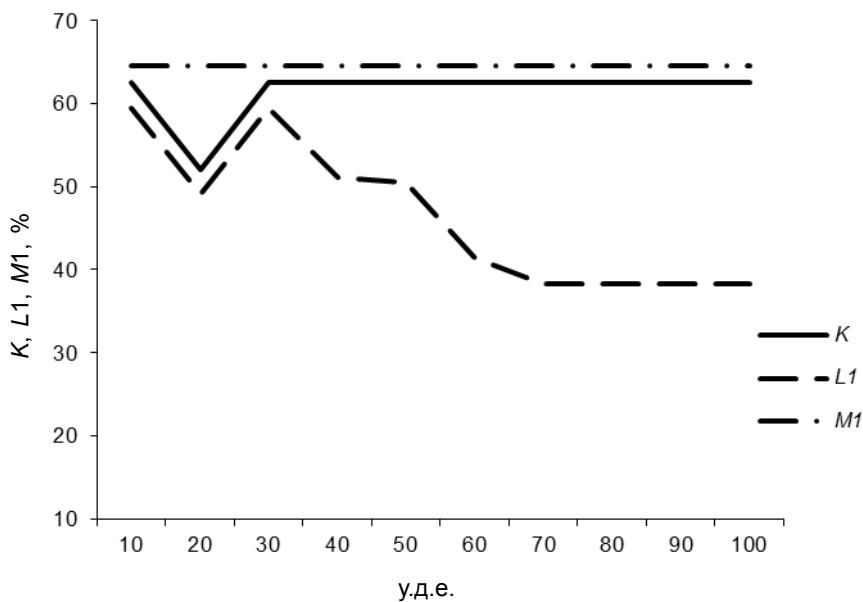
*As one tools for production economic efficiency analysis is proposed to use the three-dimensional schedules displaying the main economic production properties. Schedules building principles are briefly stated, the coverage analysis of the surfaces, considered in article, is made, differences in their character, defined by the control methods used for enterprises management are shown (principles of a maximum profit achievement).*

**Key words:** economic analysis, production, three-dimensional schedule, three-dimensional surface examples.

Одним из важных инструментов управления производством является визуальная информация. В этом качестве, прежде всего, используются различного рода графики. В настоящее время такими графиками являются в основном двумерные графики, иллюстрирующие зависимости вида  $y = f(x)$ . В этих случаях мы имеем две переменные  $x$  и  $y$ , между которыми исследуется зависимость. В действительности число переменных, определяющих результативность производства, существенно больше, и проблема его эффективности изучается либо путём ограничения количества рассматриваемых различных пар взаимозависимых переменных, либо исследованием некоторых обобщённых показателей производства, либо вообще пренебрежением некоторыми из них в конкретных направлениях анализа.

На рис. 1 приведён пример одного из вариантов ситуации, при которой на графике отображается только два производственных показателя из трёх, желаемых к рассмотрению. Указанные графики, иллюстрируют эффективность производства, расходующего материальные и трудовые ресурсы и управляемого по принципу подбора состава портфеля изделий, исходя из максимальной прибыли при ограничениях на величину производственных ресурсов и потребности рынка в продукции предприятия. Этот метод оптимизации решения плановых задач обычно определяется как метод перебора возможных вариантов или, сокращённо, как метод перебора.

Эффективность указанного выше производства может оцениваться инвестором по критерию максимальной рентабельности продукции (ожидаемая прибыль от реализации продукции к затратам на её производство). Для того, чтобы определить наиболее благоприятные условия работы производства, как раз и были построены графики зависимости рентабельности продукции от объёма затраченных на её производство ресурсов (для данного конкретного производства), которыми в каждом отдельном случае оно может располагать. Поскольку учитываемых ресурсов два, то придётся один из двух ресурсов считать постоянной величиной и построить графики зависимости рентабельности продукции от наличия одного из производственных ресурсов. На рис.1 построены три таких графика для трёх разных случаев значений одного из ресурсов (соответственно 20, 50 и 100 условным денежным единицам – у. д. е.). Из рисунка следует, что все три графика имеют принципиально отличный друг от друга характер, что зависит от величины ресурса, выбранного в качестве постоянного. Однако нельзя утверждать, что это все виды графиков, которыми может определяться данное производство при данном варианте описания и что не появятся новые виды графиков, если взять в качестве постоянных значений ресурса другие величины. И то, какие условия работы производства по величине ресурса выбрать при использовании в качестве инструмента анализа двухмерный график, однозначно



**Рис. 1. Графики зависимости рентабельности продукции от изменения величины одного из ресурсов при фиксированной величине второго ресурса:**  
по оси абсцисс – затраты первого ресурса в условных денежных единицах;  
по оси ординат – рентабельность в процентах

по графикам рис. 1 определить не получится. Заметим, кстати, что промежуточных значений ресурса между значениями 20, 50 и 100 даже при ограниченном шаге изменяемого ресурса может существовать достаточно большое количество. Вряд ли у кого-нибудь появится желание всех их построить и исследовать.

Из данной ситуации имеется, по крайней мере, один выход, а именно, рассматривать в качестве описания производства функцию не одной независимой переменной  $y = f(x)$ , а двух независимых переменных

$$Z = F(X, Y).$$

В этом случае зависимая переменная  $Z$  может рассматриваться как рентабельность продукции, а  $X$  и  $Y$  – как два соответствующих ресурса.

Визуальное отображение этой функции – трёхмерный график (3D-график) с координатными осями  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ . Построение такого рода графиков для сложных объектов из-за очень большого объёма вычислений является практически недоступным занятием для экономиста, не специализирующегося в этой области, а по объёму затрат времени и интеллекта просто оно не рационально, тогда как математическая компьютерная система *Mathcad* имеет весьма развитое программное обеспечение для решения самых разнообразных задач, связанных с построением 3D-графиков. Поэтому для наших целей выбираем систему *Mathcad*.

Обычно, как это используют в практике построения 3D-графиков, создают таблицы из трёх столбцов, в которые заносятся данные по координатам  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  соответственно. В *Mathcad* 3D-графики строятся совсем по иному принципу, с помощью матриц. Поскольку проблема построения 3D-графиков применительно к реализации в системе *Mathcad* выходит за рамки статьи, отсылаем читателя к работам [1, 2], в которых подробно излагается материал по данной проблеме.

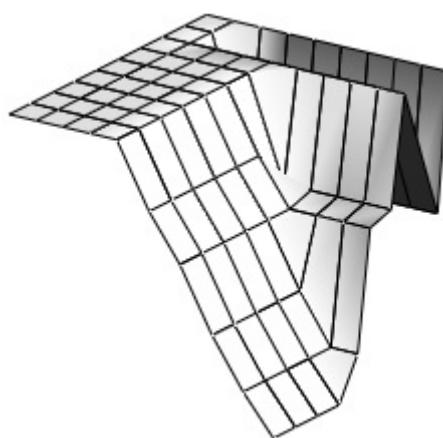
Для построения трёхмерного графика необходимо иметь три матрицы: матрицы сетки данных по координатам  $X$  и  $Y$  и матрицу  $Z$  результатов функции  $F(X, Y)$ , размещённых в узлах (местах пересечения) сеток данных  $X$  и  $Y$ . Матрица  $Z$  несёт смысловую нагрузку несколько большую, чем просто значение координаты  $Z$ . Как известно, матрица является двумерной математической конструкцией, и с её помощью представляется возможным наблюдать матричное отображение функции  $Z = F(X, Y)$ , полагая числа в строках, например, как числа, расположенные по направлению координаты  $X$ , а числа в столбцах – как числа, расположенные по направлению координаты  $Y$ .

Из-за своей относительно большой размерности даже для рассматриваемого случая матрица  $Z$  в данной статье не приводится, тем не менее можно указать, что графики на рис. 1 соответствуют данным: второго столбца матрицы  $Z$  (график  $K$ ); пятого столбца (график  $L1$ ); десятого

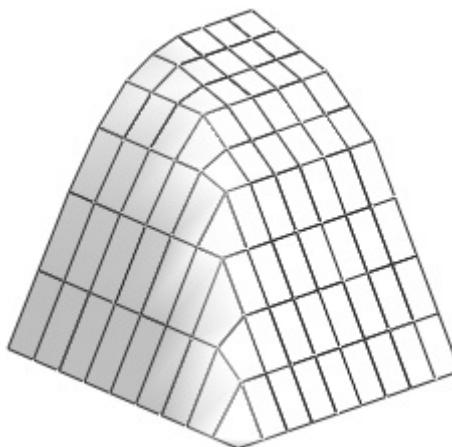
столбца (график  $M1$ ). По данным остальных столбцов в подтверждение вышеприведённого утверждения о большом количестве возможных к построению графиков может быть построен ещё целый ряд графиков, подобных графикам рис. 1. Здесь заметим, что для наглядности в различии характера графиков на рис. 1 координаты графика  $L1$  уменьшены на три единицы по сравнению с данными десятого столбца матрицы, данные графика  $M1$  увеличены на две единицы по сравнению с данными второго столбца а данные графика  $K$  оставлены без изменения по отношению к данным пятого столбца. Если было бы необходимо построить графики, аналогичные приведённым на рис. 1, но с фиксированием неизменным первым (а не вторым) из рассмотренных ресурсов, то можно использовать данные соответствующих строк (а не столбцов) матрицы  $Z$ . Количество возможных к построению графиков для каждой конкретной матрицы зависит от размера данной матрицы.

Имея три необходимые для построения 3D-графика матрицы и воспользовавшись соответствующими программными продуктами *Mathcad*, выполним построение трёхмерной поверхности, отображающей в трёхмерном пространстве указанные в начале статьи экономические характеристики производства – два вида ресурсов и рентабельности продукции (рис. 2). Изучив построенную поверхность, можно понять основные свойства производства и, в том числе, объяснить различия в графиках рис. 1. На поверхности виден провал в величине рентабельности продукции, а также постоянное её снижение к одному из углов поверхности (можно легко определить свойства поверхности и связь вида графиков рис. 1 с этими свойствами).

Если вместо матрицы  $Z$  (рентабельность продукции) построить матрицу  $W$  (ожидаемая прибыль от реализации продукции), то получим трёхмерную поверхность, характеризующую зависимость прибыли предприятия от изменения величины ресурсов, которые могут быть использованы в производстве (рис. 3). Укажем, что максимум величины прибыли определяется максимальной величиной набора продукции, которая может быть реализована на рынке. Обратим внимание на тот факт, что для рассматриваемого производства (данные которого использованы в расчётах, но не приведены в статье), несмотря на существенное уменьшение рентабельности продукции с ростом затрат ресурсов на производство, связанное с выпуском менее прибыльных изделий и растущего их количества при росте объёма затраченных на производство ресурсов, прибыль всё равно растёт, хотя и снижающимися темпами.



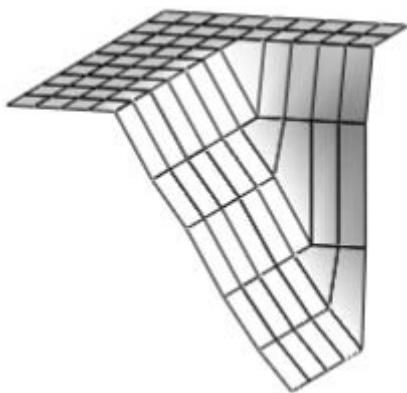
**Рис. 2. Поверхность экономического отклика по рентабельности продукции для производства, управляемого с использованием принципа получения максимальной прибыли методом перебора вариантов плана производства**



**Рис. 3. Поверхность экономического отклика по прибыли для производства, управляемого с использованием принципа получения максимальной прибыли методом перебора вариантов плана производства**

Поскольку производство является совокупностью взаимодействия материальной базы и системы управления ею, будет полезным определить, изменяются ли и, если изменяются, то как, свойства поверхности экономического отклика производства при изменении системы управления им.

На рис. 4 приведена поверхность экономического отклика того же производства в случае, если оптимизация его функционирования будет выполняться по критерию максимума прибыли, достигаемого путём использования симплекс-метода, при прочих одинаковых с предшествующими



**Рис. 4. Поверхность экономического отклика по рентабельности продукции для производства, управляемого с использованием принципа получения максимальной прибыли симплекс-методом**

ми условиями его функционирования. Мы видим, что структура поверхности подобна приведённой на рис. 2 за исключением провала величины рентабельности продукции, который на рис. 4 отсутствует. Изменяется несколько и крутизна снижения рентабельности продукции к нижнему углу поверхности. Имеются и другие, менее принципиальные отличия между результатами оптимизации производства этими двумя методами, которые также, как и приведённые выше различия легко определяются из матрицы функции (1), аналога матрицы  $Z$ , но уже для случая использования симплекс-метода (указанная матрица из-за ограниченности объёма статьи также не приводится). По этой же причине не даётся и анализ влияния особенностей алгоритмов оптимизации, технико-экономических характеристик продукции, ограничений по потребностям рынка

в данных видах продукции, приводящих к появлению соответствующих особенностей поверхностей экономического отклика производства. Заметим, однако, что определённая часть особенностей поверхности экономического отклика может быть связана не только с реализуемым принципом управления производством, но и с особенностями математической и программной реализации соответствующих методов расчётов, т.е. быть инструментальной погрешностью.

Таким образом, предлагаемое графическое построение экономических характеристик производства в виде 3D-графика поверхности экономического отклика позволяет достаточно быстро определить его основные особенности, как совокупности сферы материального (технологического) производства и системы управления им. В свою очередь, это позволяет промоделировать результаты функционирования производства в разнообразных разрезах и, что особенно важно, оценить целесообразность использования тех или иных критериев и методов управления. По заданным экономическим показателям производства с использованием 3D-графиков возможно так же определить области его целесообразного функционирования.

Авторы полагают, что исследование производства (впрочем, как и других экономических объектов) с помощью анализа поверхностей экономического отклика могут найти достаточно широкое применение в практике управления предприятиями.

#### **Библиографические ссылки**

1. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. Mathcad 12. М.: NT Press, 2005. 345 с.
2. Гурский Д.А., Турбина Е.С. Вычисления в Mathcad 12. СПб.: Питер, 2006. 544 с.



## **ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА: учебное пособие**

**А.Н. Болдин, А.И. Яковлев, С.Д. Тепляков и др.**

Под общ. ред. А.Н. Болдина

352 с. : ил. ISBN 978-5-94275-523-2

**Цена 1000 р.**

Приведены основные методики исследований и расчета вредных выделений в литейном производстве, рассмотрены различные технологии литейного производства, применяемые в машиностроительном комплексе России и за рубежом с точки зрения экологии. Даны сведения, необходимые для проектирования литейных цехов, реконструкции уже существующих литейных цехов и оценки их влияния на окружающую среду.

Пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности "Машины и технология литейного производства", а также может быть полезно специалистам-литейщикам.

УДК 66.061:62.868

**С.Ф. Яцун, д-р техн. наук, проф., В.Я. Мищенко, канд. техн. наук, доц., А.В. Мальчиков**  
(Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

mishenko47@mail.ru

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

*Предложена модульная схема автоматизированного комплекса для получения пектиновых веществ методом вибрационного экстрагирования с использованием мехатронных подходов. Описано исследование системы автоматического управления электромагнитным приводом вибреактора.*

**Ключевые слова:** автоматизация, вибрация, пектин, экстракция.

*Automatic complex modular scheme in order to receive of the pectin substances by vibrating extraction method through the use of mechatronics approach is proposed. An automatic control system research of the vibroreaktor electromagnetic drive is described.*

**Key words:** automation, vibration, pectin extraction.

Специалисты и потребители многих стран одним из условий поддержания здоровья, работоспособности и долголетия людей считают необходимым переход к функциональному питанию, т. е. к потреблению продуктов с изменённым составом. Одним из важнейших направлений для решения этой задачи является получение пектина. Пектин, получаемый из свекловичного жома, показывает наиболее высокую способность комплексообразования, т. е. связывание солей тяжёлых металлов и радионуклидов. Такие пектины обладают более высокой, чем яблочные и цитрусовые, способностью взаимодействовать с ионами металлов и выводить из организма человека ионы тяжёлых металлов и радионуклиды, а также сорбировать и выводить из организма биогенные токсины, анаболики, ксенобиотики, продукты метаболизма и биологически вредные вещества, способные накапливаться в организме (холестерин, желчные кислоты, мочевину, продукты тучных клеток).

Одним из основных технологических процессов при получении пектина является экстракция, заключающаяся в процессе извлечения пектиновых веществ из пектиносодержащего раствора.

Проведённые авторами исследования позволили установить, что для интенсификации процесса экстракции эффективным является использование вибрационного воздействия [1–3]. Кроме этого, такое воздействие на обрабатываемые срезы легко поддаётся регулированию путём изменения амплитуды и частоты вибрации, что даёт возможность оптимизировать режимы технологических процессов и автоматизировать процесс извлечения пектиновых веществ из свекловичного жома. По результатам теоретических и экспе-

риментальных исследований был разработан автоматизированный комплекс для получения пектинового концентрата из свекловичного жома методом вибропрессования [4, 5].

В основу создания комплекса положен мехатронный подход к созданию современных технологических машин, который заключается в переносе функциональной нагрузки от механических узлов к интеллектуальным, легко перепрограммируемым под новую задачу. При этом конструирование современных мехатронных систем осуществляется по модульному принципу, т. е. существуют механические компоненты (передаточные механизмы, звенья), электромеханические компоненты (двигатели, тормоза, муфты), электронные, микропроцессорные, информационные и сенсорные устройства, объединённые в одном корпусе [6].

Основными преимуществами мехатронных модулей являются:

исключение многоступенчатого преобразования энергии и информации, упрощение кинематических цепей и, следовательно, высокая точность;

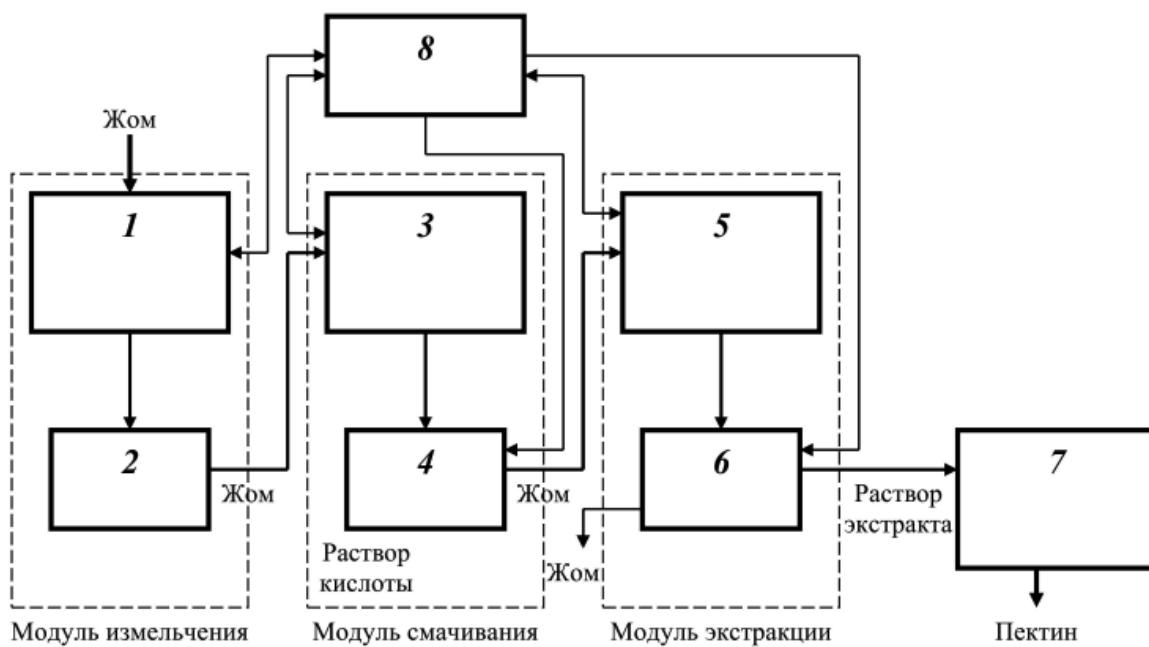
конструктивная компактность;

возможность объединения мехатронных модулей в сложные мехатронные системы;

способность выполнять сложное движение благодаря применению методов адаптивного и интеллектуального управления.

Модульная схема автоматизированного комплекса для получения пектинового концентрата из свекловичного жома представлена на рис. 1.

Комплекс состоит из модуля измельчения (проведение измельчения свекловичного жома до нужного размера), включающего в себя мельницу 1 и резервуар 2; модуля набухания (прове-



**Рис. 1. Модульная схема автоматизированного комплекса**

дение процесса гидратации, т. е. насыщения порошка жома водой и последующего гидролиза), состоящего из смесителя 3 и центрифуги 4; модуля экстракции (проведение процесса вибропрессования и извлечение пектиновых веществ из раствора), состоящего из вибропрессора 5 и центрифуги 6; модуля фильтрации 7 (фильтрование пектинового экстракта и доведение его до нужной концентрации); системы автоматического управления 8, которая отвечает за последовательность и длительность стадий технологического процесса и представляет собой микроконтроллер и систему датчиков, контролирующих определённые параметры различных стадий.

Комплекс работает следующим образом. Сырье (сухой свекловичный жом) поступает в мельницу 1, измельчённый жом хранится в резервуаре 2, откуда поступает в смеситель 3, где проходит процесс гидролиза порошка жома в кислотном растворе. Система автоматического управления 8 поддерживает в смесителе 3 рабочую температуру и заданную кислотность, затем раствор поступает в центрифугу 4, где от твёрдой фазы отделяется раствор кислоты (который подаётся обратно в смеситель для повторного использования), а твёрдая фаза поступает в вибропрессор 5, где проходит процесс вибропрессования, система автоматического управления 8 поддерживает в вибропрессоре 5 заданную температуру и частоту колебаний. Далее пектинодержащая пульпа подаётся в центрифугу 6, где

раствор пектина отделяется от частиц жома. Затем раствор пектина проходит фильтрацию и концентрацию в модуле фильтрации 7 до получения пектинового раствора нужной концентрации.

Функциональная схема автоматизированного комплекса для получения пектинового вещества из свекловичного жома показана на рис. 2.

Весь процесс вибропрессования пектинового вещества проходит автономно. Центрифуги, которые питаются от бытовой сети переменного напряжения, оснащены релейным управлением от контроллера. Термостат имеющий встроенную систему регулирования температуры, управляет также программно. Система автоматического управления частотой и амплитудой колебаний исполнительного органа вибропрессора реализована непосредственно на самом контроллере комплекса. Для усиления слаботочных сигналов система содержит ряд усилителей мощности, посредством которых осуществляется управление силовыми агрегатами комплекса.

Структурная схема системы автоматического управления (САУ) вибропрессора показана на рис. 3.

На данной схеме приняты следующие обозначения: МК – микроконтроллер;  $x_3(t)$ ,  $\dot{x}_3(t)$ ,  $\ddot{x}_3(t)$  – перемещение, скорость и ускорение рабочего органа устройства (задаются оператором, или принимаются по умолчанию); Э – логический элемент получения экстремального значения;  $\int$  – интегрирующий элемент схемы САУ;



Рис. 2. Функциональная схема автоматизированного комплекса

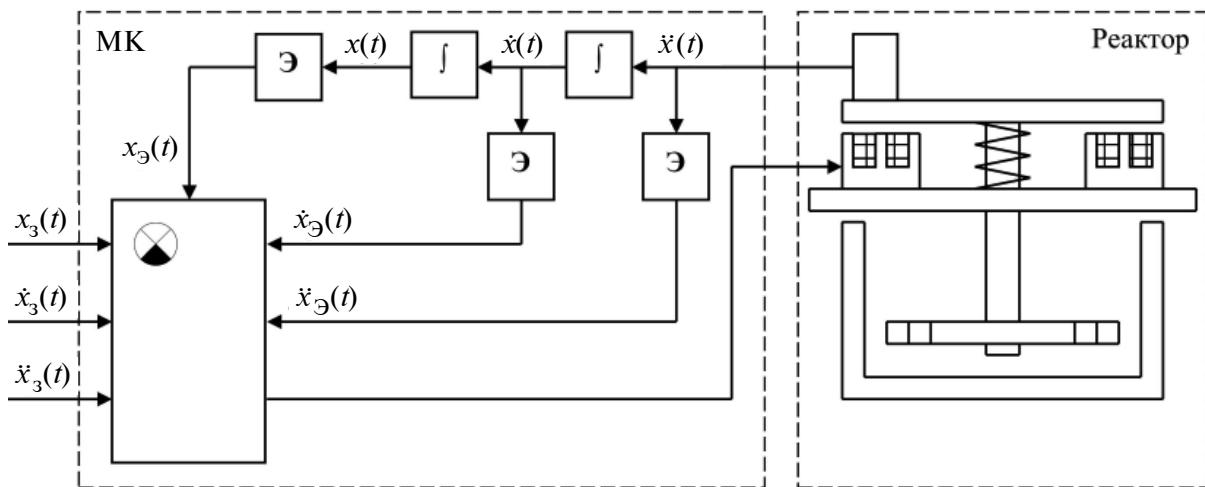


Рис. 3. Структурная схема системы автоматического управления электромагнитного привода виброреактора

$x_{\Theta}(t)$ ,  $\dot{x}_{\Theta}(t)$ ,  $\ddot{x}_{\Theta}(t)$  – экстремальные значения перемещения, скорости и ускорения выходного звена.

САУ работает следующим образом. На исполнительном органе виброреактора расположен однокоординатный акселерометр, который отслеживает значения развиваемого ускорения  $\ddot{x}(t)$ . Далее сигнал поступает на входы микроконтроллера, в котором сигнал интегрируется для получения значений скорости  $\dot{x}(t)$  и перемещения  $x(t)$  исполнительного звена устройства. При управлении движением рабочего органа виброреактора интерес представляют именно экстремальные значения перемещения, скорости и ускорения ( $x_{\Theta}(t)$ ,  $\dot{x}_{\Theta}(t)$  и  $\ddot{x}_{\Theta}(t)$ ); используя эти значения управляемый сигнал формируется согласно условиям:

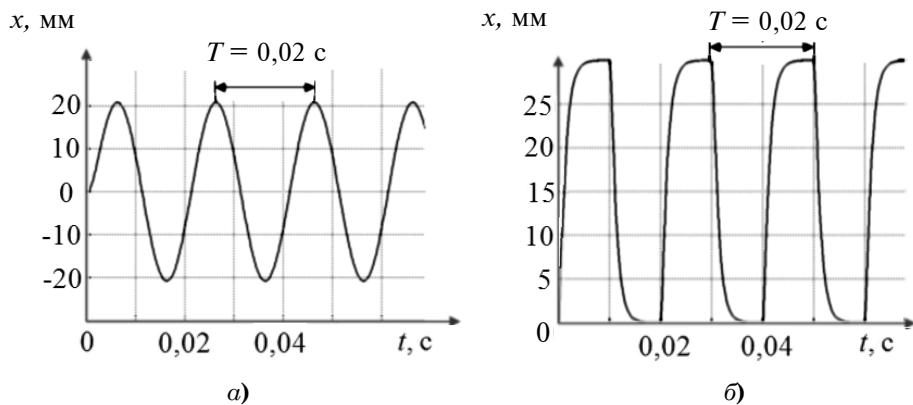
$$x_{\Theta}^{\min}(t) < x_{\Theta}(t) < x_{\Theta}^{\max}(t);$$

$$\dot{x}_{\Theta}^{\min}(t) < \dot{x}_{\Theta}(t) < \dot{x}_{\Theta}^{\max}(t);$$

$$\ddot{x}_{\Theta}^{\min}(t) < \ddot{x}_{\Theta}(t) < \ddot{x}_{\Theta}^{\max}(t),$$

где значения  $x_{\Theta}^{\min}(t)$  и  $x_{\Theta}^{\max}(t)$  задают коридор возможных погрешностей регулирования.

Согласно представленной схеме САУ и условиям формирования управляющего сигнала было проведено численное моделирование системы управления электромагнитным приводом виброреактора. По результатам моделирования системы управления были подобраны численные значения коэффициентов регулятора. Поведение САУ при различных задающих воздействиях показано



**Рис. 4. Результаты моделирования системы автоматического управления виброреактора**

на рис. 4 (а – синусоидальный закон перемещения исполнительного механизма виброреактора, б – прямоугольный закон).

Как показали результаты моделирования, система управления виброреактора отрабатывает высокочастотное задающее воздействие с высокой точностью (статическая ошибка менее 1 %, коэффициент перерегулирования равен 0) и достаточным быстродействием (время переходного процесса  $< 40$  мс).

Разработанный комплекс позволит осуществлять высокопроизводительное получение пектинового вещества из свекловичного жома за счёт полной автоматизации технологических процессов.

#### **Библиографические ссылки**

1. **Извлечение** пектина из растительного сырья с использованием вибрационного воздействия / С.Ф. Яцун, М.Б. Коновалов, В.Я. Мищенко, А.В. Сухочёв // Известия вузов. Пищевая технология. 2006. № 1. С. 101–103.

2. **Использование** вибрационного воздействия в процессах массообмена / С.Ф. Яцун, В.Я. Мищенко,

Е.В. Мищенко // Известия вузов Северо-Кавказского региона. Технические науки. 2008. № 5. С. 99–101.

3. **Интенсификация** массообменных процессов при извлечении пектиновых веществ из растительного сырья с применением вибрационного воздействия / В.Я. Мищенко, Е.М. Кувардина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т.12(36). № 4(3). С. 714–716.

4. **Пат.** 43869 Российская Федерация: МКИ C08B37/06. Мехатронное устройство для виброэкстракции пектиновых веществ / С.Ф. Яцун, В.Я. Мищенко, А.В. Сухочёв; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет». № 2004128152/22; заявл. 21.09.2004; опубл. 10.02.2005. Бюл. № 4. 2 с.

5. **Пат.** 2305415 Российская Федерация: МКИ A23L1/0524. Способ получения пектина / С.Ф. Яцун, М.Б. Коновалов, В.Я. Мищенко; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет». № 2005111450/13; заявл. 18.04.2005; опубл. 10.09.2007. Бюл. № 25. 3 с.

6. **Мехатронные** вибрационные технологические машины / И.С. Захаров, С.Ф. Яцун // Мехатроника, автоматизация, управление: Сб. тр. I Всерос. науч.-техн. конф. М.: Новые технологии, 2004. С. 392–394.

#### **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 621.785.5

**И.Ф. Дьяков,** д-р техн. наук, проф.

(Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск)

i.dyakov@ulstu.ru

## УЛЬТРАЗВУКОВОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*Описан процесс упрочнения деталей ультразвуковым способом. Данна методика измерения поверхностной микротвёрдости. Для оценки прочностных свойств материала применялся коэффициент отслоения.*

**Ключевые слова:** упрочнение поверхности детали, ультразвуковая обработка, износостойкость, легирующие компоненты, микротвёрдость.

*Machine part hardening process by ultrasonic method is described. The surface microhardness measuring methodology is adduced. The exfoliation factor for material strength property valuation is applied.*

**Key words:** machine part surfaces hardening, ultrasonic treatment, wear-resistance, alloy components, microhardness.

**Введение.** В процессе текущего ремонта технологического оборудования приходится менять детали, которые имеют сверхдопустимый износ. Поверхности таких деталей, как зубчатые колеса, крыльчатки турбины, форсунки дизельного двигателя и др., не подвергаются ремонту в условиях эксплуатации, а ремонт методом замены деталей экономически невыгоден. В связи с этим актуальна разработка новой технологии упрочнения металлических изделий в условиях эксплуатации. Для формирования на поверхности металла заданной структуры с требуемым уровнем свойств использовались основные положения структурной теории прочности [1]. Известно, что в результате пластического деформирования упрочняется поверхностный слой, повышается износостойкость и сопротивление усталости. Установлена кинетика упрочнения поверхности детали легирующим компонентом с применением металлических шариков в зоне ультразвука. Воздействие ультразвуковых колебаний приводит к снижению сил трения и сопротивления пластическому деформированию. Как и при других видах поверхностного деформирования происходит сжатие гребешков от предшествующих обработок, образуется наклённый слой. В качестве легирующего компонента был применён порошок дисульфидомолибдена. Массу используемого порошка находили из уравнения

$$m_{\text{п}} = 3,09 \cdot 10^{-2} m_{\text{ш}} \frac{d_{\text{п}}}{\sqrt[3]{\frac{m_{\text{д}}}{\rho_{\text{ш}}}}} \frac{\gamma_{\text{п}}}{\rho_{\text{ш}}} a_{\text{k}} \sqrt{\frac{\gamma_{\text{п}}}{E_{\text{пр}}}},$$

где  $m_{\text{ш}}$  – масса шарика;  $d_{\text{п}}$  – диаметр частицы порошка;  $m_{\text{д}}$  – масса детали;  $\rho_{\text{ш}}$  – плотность шарика;

$\gamma_{\text{п}}$  – объёмный вес порошка;  $a_{\text{k}}$  – амплитуда ультразвукового колебания;  $E_{\text{пр}}$  – приведённый модуль упругости материалов ( $E_{\text{пр}} = 2 \frac{E_{\text{д}} E_{\text{ш}}}{E_{\text{д}} + E_{\text{ш}}}$ ; где  $E_{\text{д}}$ ,  $E_{\text{ш}}$  – модуль упругости детали и шарика соответственно).

Диаметр шарика вычисляли из выражения

$$d_{\text{ш}} = 1,046 \sqrt[3]{\frac{m_{\text{д}}}{\rho_{\text{ш}}}}.$$

С целью изучения эксплуатационных характеристик получаемых покрытий проведены исследования физико-механических свойств материала (микроструктуры, износостойкости, микротвёрдости). Предложенный способ ультразвуковой обработки (УЗО) поверхности в зависимости от размеров изделия, свойств материала, акустических параметров даёт возможность определять режимы, время обработки, массу загружаемого молибденового порошка, расстояние от обрабатываемой детали до элемента насыщения. Обработка при определённых режимах позволяет получить оптимальные поверхностные напыления порошком дисульфидомолибдена.

**Используемое оборудование.** Поверхностное пластическое деформирование ультразвуковым способом проводили на установке УЗГ-34. Установка состоит из пульта управления технологическим процессом и резонатора. Потребляемая мощность установки 4 кВт, площадь рабочей камеры-резонатора 24 см<sup>2</sup>, объём рабочей камеры 32 см<sup>3</sup>. Подготовленную партию образцов укладывали в камеру резонатора площадью 7 см<sup>2</sup>, засыпали поверхности образцов порошком дисульфидомолибдена массой до 1 г, плотностью 10,2 г/см<sup>3</sup> и диаметром частиц порошка 50–70 мкм, затем до-

бавляли стальные шарики массой 3,9 г, плотностью 7,8 г/см<sup>3</sup> и диаметрами 0,3; 0,26 и 0,18 см.

Установлен следующий режим ультразвуковой обработки: температура в камере-резонаторе поддерживалась не более 25° С, напряжение сети 220 В, амплитуда смещения 0,0057 см, частота колебаний 211,7 кГц. По окончании обработки упрочнённые детали вынимали из камеры-резонатора и взвешивали на аналитических весах. До и после испытаний проводили замеры твёрдости, линейных размеров, шероховатости поверхности (на профилографе-профилометре) исследованных образцов. Микротвёрдость полученных покрытий измеряли с помощью оптической системы на твёрдомере ПМТ-3М.

При использовании метода определения микротвёрдости по восстановленному отпечатку перед измерениями производилась локальная полировка поверхности алмазными пастами и обезжиривание спиртом. Для обеспечения перпендикулярности поверхности пластины-свидетеля к оси индентора исследуемый образец с помощью прессса прижимали к металлической подкладке с насыщенным на неё слоем пластичного материала. Подкладку с образцом устанавливали на стол ПМТ-3М и осуществляли индентирование с выдержкой 7–10 с.

После снятия нагрузки и удаления индентора измеряли параметры оставшегося отпечатка, по которым определяли величину микротвёрдости. Для определения микротвёрдости износостойкого покрытия необходимо, чтобы его толщина была по крайней мере в 3 раза больше глубины отпечатка. Микротвёрдость покрытия измеряли при нагрузке 1 Н на индентор прибора ПМТ-3М. Для измерений применялся наконечник в форме четырёхгранной пирамиды с квадратным основанием (пирамида Виккерса). Угол заострения алмазного четырёхгранного наконечника 2,38 рад. Для наиболее точного определения микротвёрдости покрытий измерение искажённых отпечатков, имеющих хрупкое разрушение, не проводили. Значение микротвёрдости вычисляли по формуле

$$H_{\mu} = 1,854F/d^2,$$

где  $F$  – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику;  $d$  – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей квадратного отпечатка.

Прочность сцепления оценивали методом непрерывного вдавливания алмазного индентора на твёрдомере ТК-2М при нагрузке 1000 Н. За критерий оценки адгезионно-прочностных свойств материала был принят коэффициент отслоения  $K_o$ , определяемый из соотношения  $K_o = S_o/S_{\text{лун}}$ ,

где  $S_o$  – площадь отслоения вокруг лунки от индентора, мм<sup>2</sup>;  $S_{\text{лун}}$  – площадь лунки, мм<sup>2</sup>.

Площадь отслоения и характер разрушения определяли с помощью микроскопа. Для минимизации ошибки при замере микротвёрдости испытание проводили трёхкратно путём вдавливания алмазной пирамиды с углом при вершине 136° при нагрузке 1 Н. Численное значение определяли путём перевода длины диагонали отпечатка по таблицам в показания микротвёрдости. Для получения профиля поверхности использовали способ контактного профилографирования. Сущность способа состоит в том, что на основании непрерывного измерения текущих значений углов дифферента (при спуске и подъёме иглы) и длины пройденного участка измерительной головкой профилографа-профилометра осуществляется построение плана трассы и продольно-вертикального сечения поверхности детали. Координаты рельефа поверхности продольного сечения определяются следующими зависимостями:

$$x_j = \int_0^S \cos \varphi_j^* ds \approx \sum_{j=1}^r \cos \varphi_j \Delta s;$$

$$z_j = \int_0^S \sin \varphi_j^* ds \approx \sum_{j=1}^r \sin \varphi_j \Delta s,$$

где  $\varphi^*$  – угол дифферента участка относительно горизонтальной плоскости;  $\Delta s$  – отрезок измеренной траектории.

Радиус кривизны отрезка  $r_j$  траектории определяли зависимостью

$$r_j = \frac{ds}{d\theta} = \frac{s_{j+1} - s_j}{\theta_{j+1-0} - \theta_{j+0}},$$

где  $\theta$  – курсовой угол;  $j$  – порядковый номер фиксированной точки измеренного участка.

Индексы при угле  $\theta$  фиксируют начало и конец безостановочного перемещения измерительной головки и принудительного поворота. Индекс «+0» фиксирует момент начала измерения, индекс «–0» – момент окончания измерения на отрезке  $s$  пути. Стохастическая модель поверхности как стационарной случайной функции полностью может быть представлена характеристиками, с помощью которых описывается процесс на входе динамической системы. Решение этой задачи позволит значительно упростить спектральный анализ, исключив измерение большого числа параметров.

Структурные исследования образцов проводили методами рентгеновской дифрактометрии. Бы-

ли определены свойства покрытия поверхности детали по разработанной технологии. Особенности применяемых методик связаны с некоторыми сложностями, возникающими при изучении таких объектов, как малая толщина, высокая твёрдость, хрупкость, дефектность кристаллической структуры и т. д.

В деформированных кристаллах при исследовании кристаллического строения упрочнённой поверхности происходит перераспределение интенсивности лучей, что может вызвать размытие и смещение дифракционных максимумов. Так, смещение пиков дифракционных линий и перераспределение интенсивностей между ними могут вызвать напряжения сдвига поверхностного слоя, дефекты упаковки, изменение фазового состава, появление в материале преимущественных ориентировок (текстур) и т. д. На форму рентгеновских линий могут влиять микроискажения кристаллической решётки, дисперсность областей когерентного рассеивания и др. Фазовый состав и микронапряжения исследовали рентгеновским методом на дифрактометре ДРОН-3М с использованием фильтрованного  $\text{Cu}_{ka}$ -излучения. Основная аппаратурная погрешность измерения скорости счёта импульсов не более  $\pm 0,4\%$ . Установка ДРОН-3М применяется в различных отраслях промышленности и науки, в том числе для технологических исследований, контроля качественного и количественного состава структур кристаллических веществ. Управление дифрактометром осуществляется от специализированной микроЭВМ через устройство связи.

При облучении кристаллического вещества пучком монохроматического рентгеновского излучения возникает дифрагированное излучение от параллельных атомных плоскостей. Условие возникновения дифракции рентгеновских лучей определяется уравнением Вульфа–Брегга

$$2d \sin \theta = ln,$$

где  $d$  – межплоскостное расстояние;  $\theta$  – угол дифракции;  $l$  – длина волны характеристического излучения;  $n$  – порядок отражения.

По положению интенсивности и форме дифракционных пиков, а также по характеру фона определяли параметры структуры и структурно-зависимые характеристики анализируемого вещества. Микроструктуру упрочнения стали исследовали с помощью оптического микроскопа Neophot-21.

Сравнительные испытания образцов на усталость проводили на машине типа МУИ-6000, конструкция которой обеспечивает повторно-переменное нагружение образцов, вращающихся с частотой  $6000 \text{ мин}^{-1}$ .

**Результаты исследования.** Микроструктура упрочнённой поверхности (рис. 1) получена с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-200. Особое внимание обращалось на состояние поверхности. Шероховатость поверхности определяли на профилографе-профилометре. Высота микронеровностей Ст3 составляла  $R_z = 0,5$ , алюминиевого сплава –  $R_z = 0,21 \text{ мкм}$  до обработки и соответственно  $R_z = 0,06$  и  $R_z = 0,02 \text{ мкм}$  после обработки. Зависимость износстойкости углеродистых сталей при микроударном воздействии с удельным давлением  $p = 2 \text{ МПа}$  от времени испытаний показана на рис. 2, *a* и *б*. Экспериментально установлено, что общий уровень упрочнения при микроударном воздействии аустенитового сплава выше, чем алюминиевого, а углеродистого выше, чем малоуглеродистого.

Величина максимальной твёрдости для Ст3 достигает 20 МПа, т. е. по сравнению с исходной поверхностная твёрдость в результате микроударов повысилась на 15 единиц. В Ст3 твёрдость в результате наклёпа достигает 36 МПа. Микротвёрдость алюминиевого сплава в зависимости от времени обработки меняется почти в 4 раза меньше, чем углеродистой стали (рис. 3). Причём глубина молибденового слоя становится больше с увеличением времени обработки стали, у алюминиевого сплава после 20 с обработки глубина слоя не меняется.

Из рис. 3 видно, что для Ст3 в начале обработки наблюдается незначительная активация процесса образования молибденового слоя до глубины 120 мкм, далее начинается стабилизация, а для алюминиевого сплава процесс стабилизируется на глубине 350 мкм. В сравнении с алюминиевым сплавом молибденовый слой на Ст3 лучше соединяется с основным металлом и не

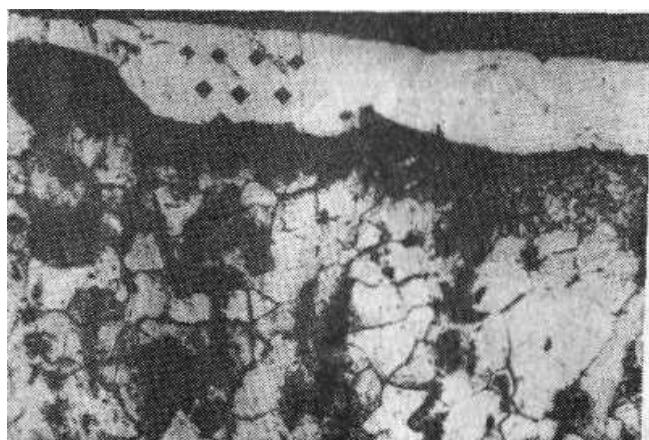
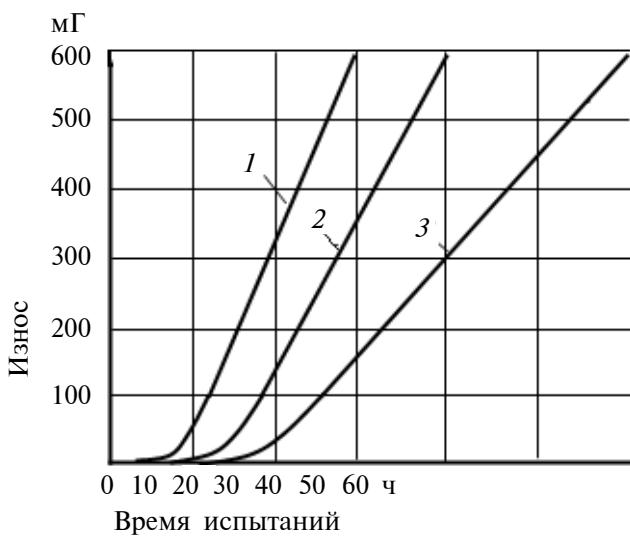
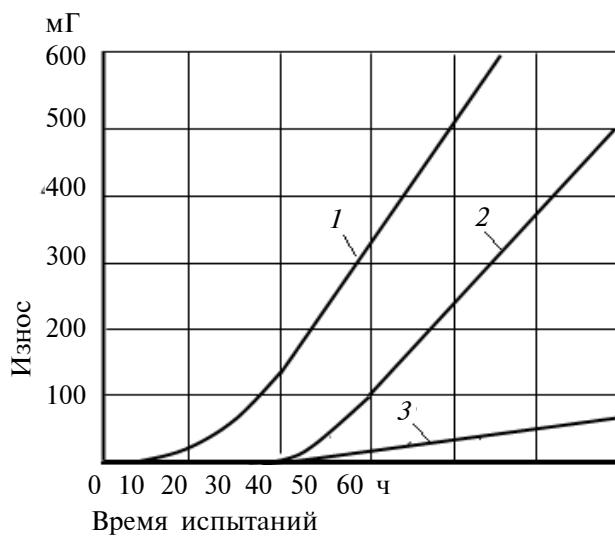


Рис. 1. Микроструктура Ст3 после ультразвуковой обработки (увеличение 400 раз)

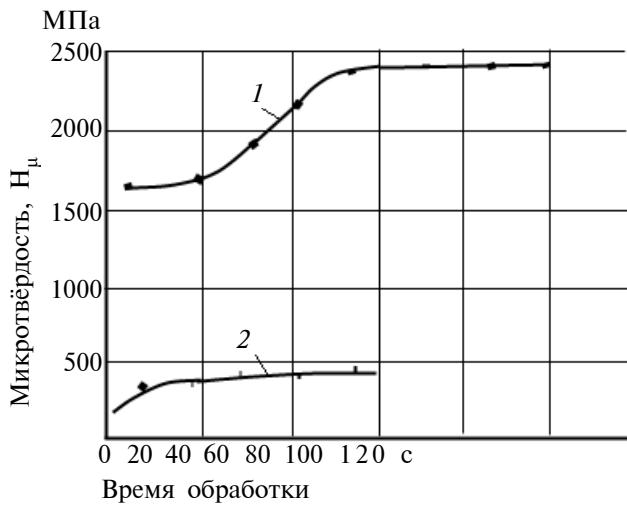


a)



б)

**Рис. 2. Зависимость износостойкости упрочнённой углеродистой стали при микроударном воздействии:**  
а – состояние поставки; б – после ультразвуковой обработки; 1 – Ст3; 2 – сталь 15; 3 – сталь 45

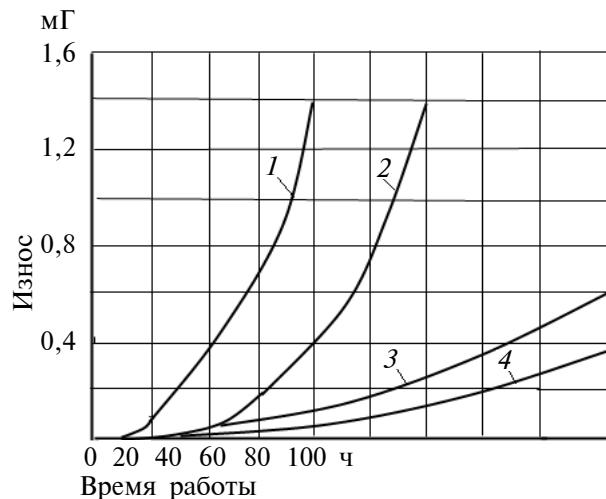


**Рис. 3. Зависимость микротвёрдости материалов от времени обработки:**  
1 – Ст3; 2 – алюминий Al-8

образует обезуглероженной зоны. Однако при этом толщина молибденовой зоны у неё значительно меньше. Предварительная активация на поверхности Ст3 позволяет увеличить толщину молибденовой зоны с 25 до 350 мкм.

Образование неуглероженной зоны объясняется вытеснением углерода из молибденового слоя вглубь металла. Наличие такой зоны позволяет эффективно использовать УЗО, тем самым повысить твёрдость и износостойкость материала.

Зависимость износа, например, крыльчатки рабочего колеса насоса от длительности её работы



**Рис. 4. Зависимость износа крыльчатки рабочего колеса гидравлического насоса от длительности работы:**

1, 4 – стальная крыльчатка до и после соответственно; 2, 3 – алюминиевая крыльчатка до обработки и после соответственно

в жидкостной среде при напоре 0,2 МПа на выходе насоса показана на рис. 4. Из рисунка видно, что после обработки износ стальной крыльчатки в зоне гидравлического удара значительно ниже. То же происходит после обработки алюминиевого сплава. Характер износа подчиняется экспоненциальному закону, а после УЗО приближается к линейному закону, что позволяет прогнозировать ресурс рабочего колеса в условиях эксплуатации.

Результаты эксперимента показали, что в процессе химического взаимодействия дисульфидомолибдена с металлическими шариками в режиме нагружения на поверхности образуется модифицированный граничный слой, состоящий в основном из сульфида железа. Наличие этого слоя способствует предотвращению схватывания металла, снижению коэффициента трения и износа.

Износостойкость, а следовательно, и долговечность диффузионного покрытия в значительной степени определяются его поверхностной твёрдостью, фазовым составом [2], а также несущей способностью. Проведённые исследования покрытий, полученных диффузионным молибдированием в ультразвуковой среде, показали, что микротвёрдость слоя меняется от 17–35 МПа на поверхности до 8–12 МПа на границе с обезуглероженной зоной или основным металлом. Расположенная за диффузионным слоем зона с низким содержанием углерода твёрдостью 10–12 МПа значительно снижает механические свойства покрытия. Образование зоны с низкой твёрдостью связано с недостаточной проникающей способностью дисульфидомолибдена и повышенной подвижностью углерода.

**Выводы.** Применение ультразвукового воздействия с использованием дисульфидомолибдена и металлических шариков с различными массами и диаметрами позволяет существенно улучшить качество поверхностного слоя по сравнению с традиционными способами упрочнения. В част-

ности повышается микротвёрдость поверхностного слоя, увеличивается износостойкость, формируются равномерное распределение остаточных напряжений и микрорельеф поверхности. Характеристики упрочнённой поверхности проверены на соответствующем оборудовании, приведены результаты исследования стали и алюминиевого сплава.

Установлено, что основными параметрами, влияющими на процесс упрочнения, являются: амплитуда звукового колебания, масса легирующего элемента и обрабатываемой детали, модуль упругости шариков. Наиболее существенное влияние на увеличение толщины упрочнённого слоя оказывают два первых параметра. Однако в зоне расположения концентраторов, где переходы способствуют возникновению наибольших напряжений, целесообразно использовать высокопрочные металлические шарики диаметром  $d = 0,8r$ , где  $r$  – радиус галтели обрабатываемой детали.

Используемые результаты исследования можно отнести к современной нанотехнологии упрочнения поверхности металлических изделий.

#### Библиографические ссылки

1. Приходько В.М., Чудина О.В. Применение принципов структурной теории прочности при разработке технологий поверхностного упрочнения, сочетающих закалку ТВЧ и ультразвуковое поле // Упрочняющие технологии и покрытия. 2005. № 5. С. 27–32.

2. Исрафилов И.Х., Тазмеев Х.К. Плазменное упрочнение поверхностей деталей // Автомобильная промышленность. 1987. № 12. С. 24.



## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ: *учебное пособие.*

Л.И. Волчекевич

380 с. ISBN: 978-5-217-03387-4

Цена 308 р.

Пособие призвано дать будущим инженерам-машиностроителям комплекс знаний и умений по трем квалификационным уровням: 1) общей эрудиции, знанию материальной части; 2) вариантиности технических решений, их сравнительному анализу и оценке; 3) синтезу технических решений, расчету и проектированию. Особое внимание обращено на выбор оптимальных структурно-компоновочных решений при проектировании машин-автоматов и их систем на этапе технического предложения.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению 651600 "Технологические машины и оборудование" специальности 120900 "Проектирование технических и технологических комплексов", может быть полезна инженерно-техническим работникам промышленных предприятий.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:

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

Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте [WWW.MASHIN.RU](http://WWW.MASHIN.RU)



УДК 658.513:004.942

**С.А. Федосеев**, канд. физ.-мат. наук, доц., **М.Б. Гитман**, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
**В.Ю. Столбов**, д-р техн. наук, проф.

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

fsaperm@mail.ru

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНРИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАЛИБРОВАННОГО ПРОКАТА**

*Предложена постановка задачи оптимизации планирования калиброванного проката и эвристический метод её решения. Приведён пример решения поставленной задачи с использованием информационной системы управления предприятием.*

**Ключевые слова:** автоматизация планирования производства, калиброванная сталь, информационная система, эвристика.

*Task optimization statement of a calibrated rolled metal planning and its decision heuristic method is proposed. Raised task decision example with use of enterprise information management system is adduced.*

**Key words:** production planning automation, calibrated steel, information system, heuristics.

**Введение.** Производство калиброванного проката относится к типу поточных многопредметных прерывных производств [1]. Задача оптимизации планирования подобных производств является актуальной в связи с большим количеством особенностей, имеющихся на предприятиях и связанных с характеристиками выпускаемой продукции, параметрами используемого технологического оборудования и принципами организации производственного процесса. Все перечисленные особенности, как правило, отражены в эксплуатируемых на предприятиях информационных системах управления ресурсами (ERP-системах). Поэтому задачи оптимального производственного планирования должны решаться в рамках или на базе этих систем.

**Постановка задачи.** Рассмотрим работу участка бунтового волочения в цехе, выпускающем калиброванную сталь (прокат). Основным процессом, используемым в производстве калиброванного проката, является калибрование – однократное волочение с малым обжатием горячекатаной или термически обработанной заготовки на волочильных станах различного типа.

Участок бунтового волочения выпускает несколько сотен видов калиброванного проката, который характеризуется следующими основными параметрами: формой сечения (круг, шестигранник, квадрат); характерным размером (диаметр для круга, размер под ключ для шестигранника, длина стороны для квадрата); маркой стали;

длиной получаемых прутков (мерная, немерная, кратная мерная).

Для каждого вида проката определены материалы, необходимые для его производства, включая заготовку (катанка различного диаметра в бунтах), вспомогательные материалы (технологические смазки) и оснастку (волочильный инструмент, ножи и др.).

При смене формы сечения, марки стали и диаметра (характерного размера) проката происходит настройка станов. Настройка может быть маленькой (1,5 часа), например при переходе на близкий диаметр для проката той же формы сечения и из стали той же марки, или большой (3 ч), например при переходе на прокат со значительно отличающимся диаметром или при смене формы сечения проката.

В цехе установлены несколько печей для термической обработки стали, характеризующихся определённой производительностью (т/ч) и временем отжига (ч). Для транспортировки проката между становыми и печами требуется некоторое известное время.

Волочильные станы характеризуются следующими основными параметрами изготавливаемого проката: форма сечения; обрабатываемые марки сталей, диапазон диаметров (характерных размеров), диапазон длин получаемых прутков. На участке бунтового волочения установлены шесть волочильных станов:

стан № 1: форма сечения – круг; марки стали 08–50, 10kp–20kp, 20X–45X, AC14 и др.; номинальный диапазон диаметров 4,0–8,0 мм; диапазон длин прутков 3–5 м; усилие волочения 1500 кгс;

стан № 2 и стан № 3: форма сечения – круг; марки стали 08–50, 10kp–20kp, 20X–45X, AC14 и др.; номинальный диапазон диаметров 6,0–20,0 мм; диапазон длин прутков 3–5 м; усилие волочения 6500 кгс;

стан № 4: форма сечения – шестигранник; марки стали 10–50, 10kp–20kp, 20X–45X, AC14, 12XH и др.; диапазон размеров под ключ 8,0–15,0 мм; диапазон длин прутков 2–5 м; усилие волочения 10 000 кгс;

стан № 5: форма сечения – круг; марки стали 10–50, 10kp–20kp, 20X–45X, AC14, 12XH и др.; номинальный диапазон диаметров 10,0–28,0 мм; диапазон длин прутков 2–5 м; усилие волочения 10 000 кгс;

стан № 6: форма сечения – круг; марки стали 08–50, 10kp–20kp, 15X–45X, AC14 и др.; номинальный диапазон диаметров 16,0–28,0 мм; диапазон длин прутков 3–6 м; усилие волочения 15 000 кгс.

При необходимости для каждого волочильного стана может быть проведён предварительный отжиг стали, в этом случае необходима транспортировка заготовки от печи до стана по некоторому маршруту, которая занимает определённое время. При этом суммарная производительность станов не должна превышать производительности соответствующей печи.

Волочильные станы эксплуатируются ежедневно в одну смену, продолжительность которой 12 ч. В соответствии с нормами технического обслуживания для волочильных станов регулярно, один раз в месяц проводятся профилактические работы, которые делятся в течение одного рабочего дня.

Планирование производства калиброванного проката осуществляется с горизонтом в один месяц, период оперативного планирования составляет один день (одну смену). План выпуска определяется планом реализации и имеющимися запасами на складе готовой продукции. План реализации составляется и корректируется с учётом интенсивности спроса.

Для выпуска калиброванного проката необходимо определённое число заготовок, графики поставок которых известны. Если заготовок недостаточно для производства требуемого количества продукции, то их число может быть уменьшено.

Для описания параметров задачи введём следующие обозначения:

$R$  – общее число номенклатурных единиц проката;  $R_T$  – общее число типов проката;  $S$  – общее число форм сечения проката;  $M$  – общее число марок стали;  $P$  – общее число печей для термооб-

работки проката;  $E$  – общее число станов;  $E_T$  – общее число типов станов;  $N$  – общее число компонентов (заготовки, вспомогательные материалы, оснастка);  $Tsq$  – среднее время быстрой (малой) настройки стана (ч);  $Tsl$  – среднее время долгой (большой) настройки стана (ч);  $Tst$  – время профилактики стана (ч);  $Td$  – фонд рабочего времени на период планирования (ч);  $\psi$  – числовый индикатор, например очень большое число порядка  $10^{20}$ ;  $\mathbf{rt}_i = (rts_i, rtv_i, rtm_i, rtd_i)$  – вектор, описывающий параметры  $i$ -го типа проката,  $i=1, R_T$ , где  $rts_i$  – номер формы сечения проката  $i$ -го типа, принимает значения от 1 до  $S$ ;  $rtv_i$  – диаметр (характерный размер) проката  $i$ -го типа после обработки (мм);  $rtm_i$  – номер марки стали проката  $i$ -го типа, принимает значения от 1 до  $M$ ;  $rtd_i$  – плотность проката  $i$ -го типа ( $t/m^3$ ), позволяет перевести объёмные единицы проката в тонны;

$\mathbf{r}_i = (rt_i, rl_i, ra_i, rb_i)$  – вектор, описывающий параметры  $i$ -го проката,  $i=1, R$ , где  $rt_i$  – номер  $i$ -го типа проката, принимает значения от 1 до  $R_T$ ;  $rl_i$  – длина  $i$ -го проката (м);  $ra_i$  – определяет минимальный размер складского остатка  $i$ -го проката (т);  $rb_i$  – определяет максимальный размер складского остатка  $i$ -го проката (т);

$\mathbf{p}_i = (pa_i, pb_i, pt_i)$  – вектор, описывающий параметры  $i$ -й печи,  $i=1, P$ , где  $pa_i$  – минимальная производительность  $i$ -й печи (т/ч);  $pb_i$  – максимальная производительность  $i$ -й печи (т/ч);  $pt_i$  – среднее время термообработки (отжига) в  $i$ -й печи (ч);

$\mathbf{et}_i = (ets_i, etm_i, etw_i, eta_i, etb_i, etx_i, ety_i)$  – вектор, описывающий параметры  $i$ -го типа станов,  $i=1, E_T$ , где  $ets_i$  – форма сечения для стана  $i$ -го типа, принимает значения от 1 до  $S$ ;  $etm_i$  – множество марок стали, для обработки которых может быть использован стан  $i$ -го типа, каждый элемент множества принимает значения от 1 до  $M$ ;  $etw_i$  – средняя производительность стана  $i$ -го типа (т/ч);  $eta_i$  – минимальный диаметр (характерный размер) проката после обработки для стана  $i$ -го типа (мм);  $etb_i$  – максимальный диаметр (характерный размер) проката после обработки для стана  $i$ -го типа (мм);  $etx_i$  – минимальная длина проката (прутка) для стана  $i$ -го типа (м);  $ety_i$  – максимальная длина проката (прутка) для стана  $i$ -го типа (м);

$\mathbf{e}_i = (et_i, ev_i, em_i, eu_i)$  – вектор, описывающий параметры  $i$ -го стана,  $i=1, E$ , где  $et_i$  – номер  $i$ -го типа стана, принимает значения от 1 до  $E_T$ ;  $ev_i$  – текущий диаметр (характерный размер), на получение которого настроен  $i$ -й стан (мм);  $em_i$  – текущая марка стали, на обработку которой настроен  $i$ -й стан (мм);  $eu_i$  – время использования  $i$ -го стана (ч), рассчитывается при решении задачи и определяет общее время, в течение которого стан работает, настраивается или простаивает в ожидании заготовки;

**re<sub>i</sub>** = (*rt<sub>i</sub>*, *et<sub>i</sub>*, *rew<sub>i</sub>*) – вектор, описывающий производительность станов различного типа при производстве определённого типа проката,  $i=1, R_T \times E_T$ , где *rt<sub>i</sub>* – номер *i*-го типа проката, принимает значения от 1 до  $R_T$ ; *et<sub>i</sub>* – номер *i*-го типа стана, принимает значения от 1 до  $E_T$ ; *rew<sub>i</sub>* – норма выработки стана указанного типа при производстве проката указанного типа (т/ч) с учётом коэффициентов использования оборудования, напряжённости норм выработки и др.;

**ed** = (*ed<sub>1</sub>*, *ed<sub>2</sub>*, ..., *ed<sub>E</sub>*) – вектор фонда рабочего времени для каждого стана на период планирования (ч), *ed<sub>i</sub>* ≤ *Td* для всех  $i=1, E$ ;

*Te<sub>ik</sub>* – элементы матрицы настройки станов  $\mathbf{T}_e$  (ч). Элементы *Te<sub>ik</sub>* определяют количество времени, необходимого для настройки стана с типа  $i=1, T_E$  на тип  $k=1, T_E$ . При однотипных настройках станов для упрощения могут быть использованы усреднённые времена настройки *Tsq* и *Tsl*. Если переналадка стана *i*-го типа в стан *k*-го типа невозможна, то элемент *Te<sub>ik</sub>* может принимать значение, равное  $\psi$ ;

*Tp<sub>ik</sub>* – элементы матрицы транспортировки проката  $\mathbf{T}_p$ , описывающей затраты времени на перемещение проката между станами и печами (ч). Элементы *Tp<sub>ik</sub>* определяют количество времени, необходимого для перемещения проката между *i*-й печью,  $i=1, P$ , и *k*-м станом,  $k=1, E$ . Если перемещение проката между *i*-й печью и *k*-м станом невозможно, то элемент *Tp<sub>ik</sub>* может принять значение, равное  $\psi$ ;

*A<sub>ik</sub>* – элементы матрицы применяемости  $\mathbf{A}$ , описывающей материалы, необходимые для производства проката (с учётом заготовки, вспомогательных материалов и оснастки). Элементы *A<sub>ik</sub>* определяют количество компонентов с номерами  $i=1, N$ , необходимых для производства единицы объёма проката (т) с номером  $k=1, R$ . Количество вспомогательных материалов измеряется в единицах массы и объёма, количество оснастки – в штуках;

**nr** = (*nr<sub>1</sub>*, *nr<sub>2</sub>*, ..., *nr<sub>N</sub>*) – вектор складских запасов компонентов на начало периода планирования. Количество вспомогательных материалов измеряется в единицах массы и объёма, количество оснастки – в штуках;

**np** = (*np<sub>1</sub>*, *np<sub>2</sub>*, ..., *np<sub>N</sub>*) – вектор плана прихода компонентов на период планирования. Количество вспомогательных материалов измеряется в единицах массы и объёма, количество оснастки – в штуках;

**ns** = (*ns<sub>1</sub>*, *ns<sub>2</sub>*, ..., *ns<sub>N</sub>*) – вектор плана расхода компонентов на период планирования. Количество вспомогательных материалов измеряется в единицах массы и объёма, количество оснастки – в штуках;

**rr** = (*rr<sub>1</sub>*, *rr<sub>2</sub>*, ..., *rr<sub>R</sub>*) – вектор складских запасов проката на начало периода планирования (т);

**rp** = (*rp<sub>1</sub>*, *rp<sub>2</sub>*, ..., *rp<sub>R</sub>*) – вектор плана производства проката на период планирования (т);

**rs** = (*rs<sub>1</sub>*, *rs<sub>2</sub>*, ..., *rs<sub>R</sub>*) – вектор плана реализации проката на период планирования (т).

Используя введённые обозначения, опишем ограничения задачи.

1. Пусть *k*-я печь используется для *h* станов, тогда

$$pa_k \leq \sum_{i=1}^h etw_i \leq pb_k. \quad (1)$$

Здесь и далее учтено, что для каждого стана определён тип, а потому известны все параметры, относящиеся к соответствующему типу стана. В данном случае для каждого стана используется средняя производительность в соответствии с его типом.

2. *i*-й прокат может выпускаться на *k*-м стане, если

$$(rts_i = ets_k) \wedge (rtm_i \in etm_k) \wedge \\ \wedge (eta_k \leq rtv_i \leq etb_k) \wedge (etx_k \leq rl_i \leq ety_k). \quad (2)$$

3. Для выпуска на *k*-м стане требуемого количества проката *rp<sub>i</sub>* (т) необходимо потратить *rp<sub>i</sub>/rew<sub>k</sub>* часов. Общее время использования *k*-го стана *eu<sub>k</sub>* с учётом времени настройки стана, возможного отжига и транспортировки проката между печами и станом не должно превышать фонда рабочего времени для каждого стана *ed<sub>k</sub>*. При составлении плана производства соответствующие компоненты вектора **ed** = (*ed<sub>1</sub>*, *ed<sub>2</sub>*, ..., *ed<sub>E</sub>*) при необходимости профилактики стана уменьшаются на величину времени профилактики стана *Tst*.

4. Потребность в компонентах для плана производства проката произведением матрицы применяемости  $\mathbf{A}$  на вектор плана производства проката **rp**, т. е.

$$ns = \mathbf{A} \cdot \mathbf{rp}. \quad (3)$$

5. Качественный баланс компонентов для всех  $i=1, N$

$$ns_i \leq nr_i + np_i \quad (4)$$

6. Качественный баланс проката для всех  $i=1, R$

$$ra_i \leq rr_i + rp_i - rs_i \leq rb_i \quad (5)$$

7. Будем считать, что известны складские запасы и задан план реализации проката. Тогда для

элементов плана производства проката  $rp_i$  с учётом минимального  $ra_i$  и максимального  $rb_i$  размеров складского остатка проката, а также баланса компонентов могут быть получены минимальное и максимальное значения, а также допустимое значение. Эти значения позволяют проверить план производства проката  $\mathbf{rp}$  на соответствие имеющимся ограничениям и при необходимости скорректировать его.

Параметрами управления в данной задаче являются значения элементов вектора плана производства проката  $\mathbf{rp}$ , очерёдность запуска проката в производство, а также маршруты обработки проката с использованием различных станов и печей.

Для повышения эффективности использования станов в качестве целевой функции можно принять время производственного цикла, определяемого как максимальное время использования одного из станов  $\max_{i=1, E} eu_i$ .

Математическая постановка задачи формирования оптимального оперативного плана производства калиброванного проката может быть записана в следующем виде: найти значения эле-

ментов вектора плана производства проката  $\mathbf{rp}$ , очерёдность запуска проката в производство, а также маршруты обработки проката с использованием различных станов и печей, для обеспечения минимума целевой функции  $\max_{i=1, E} eu_i \rightarrow \min$  при ограничениях типа равенств и неравенств (1)–(5).

**Пример решения задачи.** Пусть необходимо составить план производства калиброванного проката, перечисленного в табл. 1.

В соответствии с допущениями, принятыми на предприятии, при решении задачи могут быть использованы следующие гипотезы.

1. Временные затраты на предварительную термическую обработку стали не учитываются.

2. Временные затраты на профилактику станов не учитываются.

3. Предполагается, что на складе имеется необходимое для реализации плана производства число заготовок, вспомогательных материалов и оснастки.

Задача формирования плана производства калиброванного проката относится к задачам составления производственных расписаний, кото-

Таблица 1

## План производства калиброванного проката

№ п/п	Форма сечения	Марка стали	Размер, мм	План, т
1	круг	10	10,8	0,60
2	круг	10	8	2,03
3	круг	20	14	1,51
4	круг	20	16	19,34
5	круг	35	10	1,03
6	круг	35	14,9	0,98
7	круг	35	15	2,54
8	круг	45	18	5,01
9	круг	A12	19,5	3,06
10	шестигранник	40Х	14	3,03
11	круг	10	11,7	1,59
12	круг	10	21	11,92
13	круг	10	7	1,50
14	круг	10	7,1	1,51
15	круг	20	11	7,29
16	круг	35	14,6	3,01
17	круг	35	22	5,14
18	круг	40Х	24	0,36
19	круг	A12	22	2,00
20	шестигранник	10	14	1,54

№ п/п	Форма сечения	Марка стали	Размер, мм	План, т
21	круг	10	11,8	1,08
22	круг	10	16	5,00
23	круг	20	24	11,25
24	круг	20	9	1,53
25	круг	A12	13	2,03
26	шестигранник	20	17	2,07
27	шестигранник	35	14	1,53
28	шестигранник	40Х	17	4,23
29	круг	10	14,8	2,06
30	круг	20	13	4,07
31	круг	20	9,4	3,16
32	круг	20Х	24	5,87
33	круг	10	19,5	2,60
34	круг	20	18	4,99
35	круг	20	7,1	1,42
36	круг	20	8,96	1,53
37	круг	30	8	8,20
38	круг	35	14,56	7,33
39	круг	45	22	4,95
40	шестигранник	35	17	1,52

Окончание табл. 1

№ п/п	Форма сечения	Марка стали	Размер, мм	План, т
41	круг	10	14,2	2,50
42	круг	10	20	7,88
43	круг	10	23	8,03
44	круг	10	9	1,53
45	круг	20	7	3,00
46	круг	20	8	10,66
47	круг	35	11	1,58
48	круг	40	17,5	36,11
49	круг	40Х	20	1,51
50	круг	45	8	2,05
51	круг	A12	14	3,50
52	круг	10	21,5	46,91
53	круг	10	24,5	18,13
54	круг	35	18	22,87
55	круг	35	21	1,50
56	круг	40	8	1,78
57	круг	A12	21	2,83
58	шестигранник	20	14	1,52

№ п/п	Форма сечения	Марка стали	Размер, мм	План, т
59	шестигранник	A120	10	1,98
60	круг	10	10	17,00
61	круг	10	12	37,30
62	круг	10	15,5	40,11
63	круг	10	18	1,50
64	круг	12ХН	16,5	2,86
65	круг	20	10	33,17
66	круг	20	12	9,87
67	круг	20	12,5	3,03
68	круг	20	20	2,55
69	круг	20	6	6,63
70	круг	35	10,8	5,07
71	круг	35	12	0,50
72	круг	35	16	3,08
73	круг	35	20	11,00
74	круг	40Х	16	1,57
75	круг	40Х	17	3,04
76	круг	45	16	1,10

рые, как известно [2], являются NP-трудными. Поэтому для решения данной задачи метод полного перебора возможных вариантов может быть использован только в определённых пределах, т. е. для решения задачи за приемлемое время количество номенклатурных единиц в плане производства калиброванного проката не должно быть больше некоторого известного числа. В связи с этим возникает необходимость применения эвристических методов.

Эвристические методы – последовательность предписаний или процедур обработки информации, выполняемая с целью поиска более рациональных и новых конструктивных решений [3].

Основным достоинством эвристических методов является существенное сокращение времени счёта, а основным недостатком – отсутствие гарантии получения оптимального решения.

Специфика рассматриваемого производства позволила сформировать эвристический алгоритм, основанный на использовании частичного перебора номенклатурных единиц, которые могут быть произведены на различных станах с учётом времени их настройки (простоя). В результате применения предложенной эвристики время решения задачи на персональном компьютере составило около 9 мин, при этом был получен недельный план производства калиброванного про-

Таблица 2

#### Показатели загрузки станов при выполнении плана производства

Стан	Форма сечения	Размер, мм	Скорость волочения, м/мин	Объём проката, т	Время, ч
№ 1	круг	6–8	30	26,50	57,81
№ 2	круг	10–16	40	142,91	76,15
№ 3	круг	8–12	40	69,86	73,19
№ 4	шестигранник	8–17	35	17,42	20,08
№ 5	круг	14–23	35	149,20	80,01
№ 6	круг	20–25	35	100,77	29,09

Таблица 3

**План производства проката для стана № 2**

Форма сечения	Марка стали	Размер, мм	Прокат, т	Время, ч	Настройка, ч
круг	20	16	19,34	5,07	1,5
круг	10	16	5,00	1,31	1,5
круг	35	16	3,08	0,81	1,5
круг	10	15,5	40,11	11,21	3,0
круг	20	13	4,07	1,62	1,5
круг	A12	13	2,03	0,81	1,5
круг	20	12,5	3,03	1,30	1,5
круг	10	12	37,30	17,40	1,5
круг	20	12	9,87	4,60	1,5
круг	35	12	0,50	0,23	3,0
круг	35	11	1,58	0,88	1,5
круг	10	10	17,00	11,41	—
Итого			142,91	56,65	19,5

Таблица 4

**График производства проката для стана № 2**

№ п/п	Марка стали	Размер, мм	Операция	План, т	1	2	3	4	5	6	7
					пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
1	20	16	калибрование	19,34	19,34						
			настройка		1,5						
2	10	6	калибрование	5	5						
			настройка		1,5						
3	35	16	калибрование	3,08	3,08						
			настройка		1,5						
4	10	15,5	калибрование	40,11	1,1	39,01					
			настройка			1,1	1,9				
5	20	13	калибрование	4,07			4,07				
			настройка				1,5				
6	A12	13	калибрование	2,03			2,03				
			настройка				1,5				
7	20	12,5	калибрование	3,03			3,03				
			настройка				1,5				
8	10	12	калибрование	37,3			4,01	25,73	7,56		
			настройка						1,5		
9	20	12	калибрование	9,87					9,87		
			настройка						1,5		
10	35	12	калибрование	0,5					0,5		
			настройка						0,64	2,36	
11	35	11	калибрование	1,58						1,58	
			настройка							1,5	
12	10	10	калибрование	17						10,81	6,19
Итого прокат, т					28,52	39,01	13,14	25,73	17,93	12,39	6,19
Итого настройка, ч					4,5	1,1	6,4	0	3,64	3,86	0

ката с длительностью выполнения 80 ч (табл. 2), что на 20 % меньше аналогичного плана производства, составленного экспертами предприятия.

Примеры плана и графика производства для стана № 2, полученные в ERP-системе «Капитал CSE» [4], представлены в табл. 3 и 4.

Следует отметить, что при попытке минимизировать только время настройки станов можно получить увеличение времени производственного цикла в связи с тем, что некоторые номенклатурные единицы будут производиться не параллельно на нескольких станах, а последовательно на одном стане.

**Выводы.** Предложенные постановка и метод решения задачи формирования оптимального оперативного плана производства калиброванного проката являются достаточно общими и могут быть использованы в качестве методики планирования многопредметных прерывных поточных производств на различных предприятиях метал-

лургии, машиностроения, химической и пищевой промышленности.

С учётом специфики рассматриваемого производства предложен эвристический алгоритм, эффективный для решения рассматриваемого класса задач. За счёт автоматизации и применения современных технологий планирования удалось на 20 % сократить длительность выполнения плана производства калиброванного проката.

#### Библиографические ссылки

1. Производственный менеджмент: учебник / под ред. В.А. Козловского. М.:ИНФРА-М, 2003. 574 с.
2. Алгоритмы: построение и анализ / Томас Х. Кормен [и др.]. М.: Вильямс, 2006. 1296 с.
3. Джонс Дж. К. Методы проектирования. М.: Мир, 1986. 326 с.
4. Управление качеством продукции на современных промышленных предприятиях: моногр. / С.А. Федосеев, М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов, А.В. Вожаков. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. 229 с.



## СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА-МАШИНОСТРОИТЕЛЯ:

В 3-х томах. Продается в комплекте из 3-х томов

В.И. Ануриев. Под ред. И.Н. Жестковой

2816 с. ISBN: 5-217-03342-8

Цена 12100 р.

Девятое издание (8-е изд. 2000 г.) переработано в соответствии с новыми стандартами и нормативно-технической документацией.

В первом томе приведены общетехнические сведения, справочные данные по конструкционным материалам, шероховатости поверхности, допускам и посадкам, предельным отклонениям формы и расположения поверхностей, конструктивным элементам деталей, крепежным изделиям, стандартизованным и нормализованным деталям и узлам, защитно-декоративным покрытиям металлов и пластмасс.

Дополнены и значительно расширены разделы: общетехнические сведения, конструкционные материалы, конструктивные элементы деталей и крепежные изделия. Увеличено количество зарубежных аналогов отечественных материалов.

Во втором томе приведены современные справочные сведения по расчету и конструкциям осей, валов, подшипников скольжения и качения, муфт, зубчатых, червячных, реечных, винтовых, цепных, плоско- и клиновременных передач, вариаторов, шарико-винтовых передач, храповых зацеплений и разъемных соединений: болтовых, шпоночных и шлицевых.

Значительно расширены справочные сведения по валам и осям, подшипникам, муфтам, ременным передачам, разъемным соединениям и т.д.

В третьем томе приведены справочные сведения по расчету и конструированию неразъемных соединений, пружин, уплотнительных устройств, трубопроводов и арматуры, смазочных, гидравлических и пневматических устройств. Рассмотрены смазочные материалы и системы, материалы труб и рукавов, редукторы, мотор-редукторы, электродвигатели.

Значительно расширены сведения по заклепочным соединениям, уплотнениям подвижных и неподвижных соединений, трубопроводам и арматуре, классам чистоты рабочих жидкостей, kleевым соединениям, редукторам и т.д.

Предназначен для инженеров и техников-конструкторов.



## ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

### СВЯЗЬ – ЭКСПОКОМ – 2012

В мае этого года в Москве в ЦВК «Экспоцентр» прошла очередная выставка связи «Связь – Экспоком – 2012». К выставке были приурочены Дни инфокоммуникаций, где ведущие специалисты и представители федеральных органов власти подводят итоги года и обозначают перспективы развития отрасли. В этом году 24-я по счёту выставка собрала 614 компаний из 28 стран мира.

Выставку открыл и. о. министра связи и массовых коммуникаций РФ Игорь Щёголев. По его словам за минувший год государство многое сделало для развития отрасли. «Мы создали правовые рамки расчистки новых полос для внедрения передовых технологий связи, работали над налоговыми льготами, – перечислил Игорь Щёголев, – создали для небольших компаний возможность зарабатывать на платформе электронного правительства». Среди других примеров были названы запуск мобильной связи на трассе Чита – Хабаровск и проект «Веб-выборы». Последний, с точки зрения и. о. министра, является «замечательным примером совместной работы связистов, информационщиков и айтишников», которая была организована «в рекордные сроки на гигантской территории» и завершилась «потрясающим успехом». По мнению Игоря Щёголева, министерству удаётся «создавать питательную среду для новых профессионалов». В качестве результата глава ведомства особо отметил рост позиций России в рейтинге ООН по развитию электронного правительства. «Теперь перед нами ещё более амбициозные рубежи – войти в десятку», – заявил Игорь Щёголев.

Выступая на пленарном заседании Третьего российского форума по вопросам управления интернетом «Безопасность Интернета: вызовы и решения», который состоялся в рамках «Дней коммуникаций – 2012», Игорь Щёголев напомнил, что по данным Международного союза электросвязи, в 2011 г. почти треть населения земли пользовалась интернетом. В России около 47 % всего совершеннолетнего населения выходит в глобальную сеть. Кроме новых возможностей интернет несёт и новые угрозы. «Но мы не должны поддаваться панике и ажиотажу». Инициативы России по обеспечению инфобезопасности должны быть продуманными и последовательными», – подчеркнул Игорь Щёголев.

Среди основных шагов, предпринятых Россией в целях противодействия угрозам в киберпространстве,

в первую очередь была отмечена Конвенция об обеспечении международной безопасности, представленная на второй встрече высоких представителей, курирующих эти вопросы, в Екатеринбурге в сентябре прошлого года. Конвенция предполагает полное сохранение государственных суверенитетов и границ национального регулирования, в том числе в виртуальном пространстве. Предполагается, что этот документ может стать основой для выработки универсальной конвенции под эгидой ООН.

В качестве следующего шага на пути к обеспечению инфобезопасности Игорь Щёголев назвал проект «Правил поведения в области обеспечения международной информационной безопасности». Этот Кодекс в сентябре 2011 г. Россия, Китай, Узбекистан и Таджикистан предложили распространить в качестве официального документа 66-й сессии Генеральной ассамблеи ООН. Государствам, присоединившимся к Правилам, предлагается сотрудничать в борьбе с преступной или террористической деятельностью с использованием ИКТ, уважать права и свободы граждан в информационном пространстве, а также способствовать формированию культуры информационной безопасности и защите объектов критической информационной инфраструктуры.

«Именно развитие международной правовой основы является залогом легитимности любых инициатив в области инфобезопасности и последующей их реализации, – подчеркнул Игорь Щёголев. – Вопросы информационной безопасности в глобальном масштабе следует решать не на основе корпоративных правил, а путём заключения международных соглашений». По его мнению, предложения России носят дискуссионный характер и направлены на сближение позиций с партнёрами под эгидой Международного союза электросвязи, других органов и организаций ООН, Форума управления континентом, организаций глобальной системы управления развитием континента. «Я уверен, что эта открытость позволит нам сделать Интернет безопасным и полезным для человечества», – подытожил Игорь Щёголев. Он также напомнил, что рунет занимает пятое место в мире по количеству зарегистрированных доменов и что кириллический домен .рф стал пионером – первым страновым доменом на национальном языке. По его мнению, это не столько заслуга отдельного ведомства, сколько всего российского интернет-сообщества.



## ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

УДК 621.002.51

### По страницам журналов

**Расчётная модель резьбовых соединений при равномерном распределении нагрузки по виткам резьбы.** *Вестник машиностроения*. 2011. № 7.

Рассмотрены задачи равномерного распределения контактных усилий по виткам резьбы при наличии технологических зазоров. Решение задач направлено на развитие технологий в целях рационального распределения нагрузки между витками резьбы.

**Новые программные средства многокритериального проектирования многодвигательных электрогидравлических приводов.** *Вестник машиностроения*. 2011. № 7.

Предложен диалоговый алгоритм многокритериального проектирования многодвигательных электрогидравлических приводов. Описано назначение и функционирование прикладных программ из 33 модулей.

**Применение компьютерной системы SPLEN (Rolling) при решении задач многовариантного анализа калибровочных схем.** *Вестник машиностроения*. 2011. № 7.

Приведены результаты применения системы SPLEN (Rolling), позволяющей использовать имитационные модели технологических процессов прокатки в калибрах, для повышения качества прокатной продукции и снижения энергоёмкости производства.

**Применение численной оптимизации в расчёте автоматических разгрузочных устройств.** *Вестник машиностроения*. 2011. № 7.

Предложен расчёт автоматического разгрузочного устройства численной оптимизацией. В качестве минимизируемой функции приняты суммарные потери мощности насоса на работу устройства. Приведён алгоритм оптимизации.

**Использование ударных механизмов в нанотехнологии.** *Вестник машиностроения*. 2011. № 7.

В целях использования ударных процессов для нанотехнологий предложена конструкция пресса, создающего большие усилия при перемещении инструмента на расстояние нескольких микрометров.

**Методика расчёта показателей проходимости автомобиля при повреждении колёсного движения.** *Грузовик*. 2011. № 7.

Приведены результаты моделирования движения автомобиля на внутренней дополнительной

опоре при повреждении пневматической шины, а также результаты проведённых натурных испытаний боестойких колёс в различных условиях движения. Применение боестойких колёс транспортного средства позволяет повысить надёжность, курсовую устойчивость, проходимость и, что особенно важно, подвижность автомобиля, своевременный его выход из-под обстрела и поражающего воздействия противника. Предлагаемая методика, разработанная на основе модели движения колеса с пневматической шиной и внутренней дополнительной опорой по деформируемому грунту, позволяет расчёты путём определять основные показатели опорной проходимости военной автомобильной техники, оценивать и прогнозировать её уровень подвижности уже на стадии проектирования образцов.

**Технология и оборудование для восстановления рабочих поверхностей блоков и гильз цилиндров автомобильных двигателей.** *Грузовик*. 2011. № 7.

Рассмотрена технология восстановления зеркала блоков и гильз цилиндров двигателей, приведены методики расчёта величины ремонтного размера при восстановлении блоков и гильз, а также определения нормативов времени операций растачиванием и хонингованием. Дано содержание работ технологических операций и применяемое оборудование.

**Технология электрогидроимпульсной обработки металлов и сплавов: сплавы на основе Fe–C. Заготовительные производства в машиностроении.** 2011. № 7.

Выполнен анализ эффективности воздействия электрогидроимпульсной обработки расплава на структуру и свойства сплавов на основе системы Fe–C. Представлены новые данные и результаты, обобщающие многолетний опыт работы по электрогидроимпульсной обработке расплава в ковше.

**Повышение качества сборки резьбовых соединений за счёт изменения конструктивных параметров сборочного оборудования.** *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2011. № 7.

Предложена технология сборки резьбовых соединений на основе совершенствования конструкции резьбосборочного оборудования и установления взаимосвязей между факторами, влияющими на процесс формирования показателей качества сборки.