

Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Бучаченко А.Л.

Гусев А.А.

Дегтярев Ю.И.

Елисеев В.А.

Иванов А.П.

Мальцева С.В.

Нефедов Е.И.

Шебакин И.Ю.

(заместитель главного редактора)

РЕДАКЦИЯ:

Шебакин И.Ю. — зам.главного редактора

Гончарова Л.К. — научный редактор

Осипова В.Г. — научный редактор

Артамонова М.Н. — секретарь

Адрес редакции:

107076, Москва,

Стромынский пер., 4

Тел.: (499) 748 0290,

E-mail: ast@mashin.ru; <http://www.mashin.ru>

1
2011

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ
ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

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

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

ООО «Издательство Машиностроение»

Адрес издательства:

107076, Москва,

Стромынский пер., 4

Тел.: (499) 268 3858,

факс: (499) 269 4897

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

| | |
|---|----|
| Емельянов К.А., Сотников Ю.К., Тимаков А.С. Устройство автоматического пеноподавления при выпаривании жидкого сельскохозяйственного сырья в вакууме | 3 |
| Дьяков И.Ф., Моисеев Ю.В. Способ снижения износа гидростатических опор скольжения | 6 |
| Рустамов Г.А., Ёлчуев И.А. Обеспечение автономности генератора гармонических колебаний с переменной структурой | 11 |
| Долгий Н.А., Сердобинцев С.П. Автоматизированная система контроля герметичности консервов | 14 |

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

| | |
|---|----|
| Тамаркин М.А., Проскорякова Ю.А., Тищенко Э.Э. Разработка методики проектирования технологических процессов центробежной обработки деталей с учётом виброакустических характеристик | 17 |
| Неусыпин К.А. Способ прогнозирования промаха при поражении цели | 23 |
| Корчагин С.И., Леус А.В., Филимонов А.В. Реализация алгоритма для расчёта минимального времени проникновения нарушителя | 28 |
| Ахобадзе Г.Н. Использование рассеяния и дифракции электромагнитных волн для измерения физических параметров | 31 |

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

| | |
|--|----|
| Крицкий А.В., Дегтярев Е.П., Москалев И.М., Клебанов Б.И., Немтинов А.В. Интегрированная система управления статистической информацией крупного муниципального образования | 35 |
| Сердюк А.И., Рахматуллин Р.Р., Русяев А.С. Количественная оценка эффективности правил обслуживания в АСУ гибких производственных ячеек | 41 |

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

| | |
|--|----|
| Телепортация наяву с помощью Cisco ūmi | 47 |
|--|----|

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

| | |
|---|----|
| Emelyanov K.A., Sotnikov Yu.K., Timakov A.S. Facility of the automatic foam suppression at liquid agricultural raw material evaporation in the vacuum | 3 |
| Dyakov I.F., Moiseev Yu.V. Lowering wear method of the hydrostatic sliding bearing | 6 |
| Rustamov G.A., Elchuev I.A. Autonomy guaranteeing of the harmonious oscillation generator with variable structure | 11 |
| Dolgiy N.A., Serdobintsev S.P. Automatic control system of the tinned food leak tightness | 14 |

MODERN TECHNOLOGIES

| | |
|---|----|
| Tamarkin M.A., Proskoryakova Yu.A., Tishchenko E.E. Designing methodology development of the technological processes for the workpiece centrifugal treatment by taking into account the vibroacoustic characteristics | 17 |
| Neusypin K.A. Miss prediction method for direct hit | 23 |
| Korchagin S.I., Leus A.V., Filimonov A.V. Algorithm realization for calculation of the violator penetration minimum time | 28 |
| Akhobadze G.N. Electromagnetic waves dispersion and diffraction utilization for physical parameters measuring | 31 |

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

| | |
|---|----|
| Kritskiy A.B., Degterev E.P., Moskaev I.M., Klebanov B.I., Nemtinov A.V. Integrated control system of the statistical information for the large municipal formation | 35 |
| Serdyuk A.I., Rakhmatullin R.R., Rusyaev A.S. Efficiency quantitative valuation of the maintenance rules in the ACS (ASU) of the flexible production cells | 41 |

EXHIBITION AND PRESENTATIONS

| | |
|--|----|
| Teleportation in reality by means of Cisco ūmi | 47 |
|--|----|

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

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

Сдано в набор 28.10.10. Подписано в печать 27.12.10.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,9. Заказ 1. Цена свободная

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

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

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

ООО «Издательство Машиностроение»,
«Автоматизация и современные технологии», 2011 г.



УДК 519.688; 664.1.048.5

К.А. Емельянов, Ю.К. Сотников, А.С. Тимаков
(Орловский государственный технический университет)

emel@ostu.ru

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕНОПОДАВЛЕНИЯ ПРИ ВЫПАРИВАНИИ ЖИДКОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ В ВАКУУМЕ

Разработано устройство автоматического подавления пены, возникающей при выпаривании жидкого сельскохозяйственного сырья в вакууме, проведены испытания на соке чёрной смородины, показана эффективность устройства.

Ключевые слова: жидкое сельскохозяйственное сырьё, выпаривание, вакуум, пеноподавление, автоматизация.

Facility of the automatic foam suppression, arising at liquid agricultural raw material evaporation in the vacuum, is developed, testes with black currants juice were carried out and facility effectiveness is shown.

Key words: liquid agricultural raw material, evaporation, vacuum, foam suppression, automatic.

Реализация ресурсосберегающей переработки сельскохозяйственного сырья, минимизирующей потери биологической ценности, является актуальной научной проблемой. Одним из перспективных методов переработки жидкого сельскохозяйственного сырья является выпаривание в вакууме, осуществляемое при пониженных температурах и позволяющее получать концентрированные продукты с улучшенной биологической ценностью и длительными сроками хранения [1]. К жидкому сельскохозяйственному сырью относятся плодово-ягодные соки, богатые витаминами и минеральными веществами. Переработка соков прямого отжима, выполненная с помощью вакуумного дистиллятора [2], показала, что на начальной стадии выпаривания при переходе к устойчивому режиму кипения на поверхности сока образуется пена, которая, увеличиваясь в объёме, угрожает выбросом выпариваемого сырья в сборник конденсата и существенно замедляет процесс выпаривания вплоть до его полной остановки.

На основе экспериментальных результатов по выпариванию плодово-ягодных соков [3] разработан метод пеноподавления при удалении влаги из жидкого сельскохозяйственного сырья в вакууме [4]. Метод основан на регулировании остаточного давления в испарителе. Однако пеноподавление, включавшее визуальный контроль и многократное изменение давления в испарителе путём отсечки и подключения вакуумного насоса, осуществлялось вручную. Несмотря на дос-

тигнутый положительный эффект, ручная регулировка снижает производительность процесса выпаривания, отвлекает оператора от выполнения основных обязанностей, сопряжена с созданием аварийных ситуаций и из-за указанных обстоятельств остаётся недостаточно эффективной.

С целью повышения эффективности выпаривания жидкого сельскохозяйственного сырья в вакууме создано устройство автоматического подавления пенообразования, для чего разработана схема, изготовлен блок управления пеноподавлением и проведены испытания устройства при выпаривании сока чёрной смородины.

Вакуумный дистиллятор дополнительно оснащён устройством автоматического пеноподавления. Схема дистиллятора приведена на рис. 1.

Установка включает испаритель 1 (рабочий объём 40 л), соединённый паропроводом 2 с горизонтальным кожухотрубчатый конденсатором 3. Паропровод содержит шесть параллельно включённых вакуумных шлангов длиной 750 мм с проходным диаметром 20 мм. Горизонтальный конденсатор предназначен для конденсации пара и подсоединён трубопроводом 4 к вертикальному конденсатору 5. В конденсаторах использовано водяное охлаждение. Вертикальный конденсатор осуществляет охлаждение конденсата и соединён через вакуумный клапан КМУ25 6 со сборником конденсата 7. Сборник подсоединён через вентиль 8 к форвакуумному насосу 9, обеспечивающему разрежение 6–10 Па. Испаритель оснащён

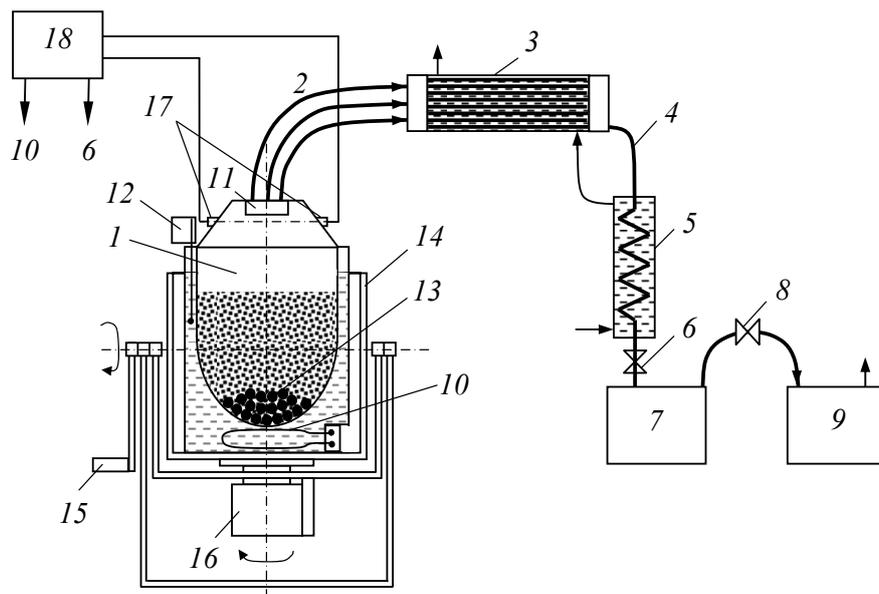


Рис. 1. Схема установки для удаления влаги в вакууме

шестью трубчатыми электронагревателями 10 мощностью 2,2 кВт каждый, брызгоуловителем 11 и терморегулятором 12. При сушке в камеру испарителя, помимо высушиваемого материала, загружают рабочие тела 13 в виде шаров из стали диаметром 25–50 мм. Испаритель помещён в ячейку 14 с двумя осями вращения. Рукояткой 15 изменяется положение оси симметрии ячейки. Привод 16 обеспечивает колебательное вращение ячейки на пол-оборота относительно оси симметрии и перемешивает материал при сушке.

В основу автоматического пеноподавления положена фиксация момента достижения пеной критического уровня вблизи крышки испарителя, превышение которого сопровождается выбросом выпариваемого сырья в паропровод, а затем и в сборник конденсата. Учитывая, что пенообразование является достаточно плотным и не пропускает свет, в качестве датчика критического уровня использована оптопара 17, установленная внутри испарителя вблизи крышки. Оптопара состоит из расположенных на одной оптической оси фотодатчика и фотоприёмника и является входной цепью блока управления пеноподавлением 18. По управляющему сигналу от оптопары блок формирует сигналы управления вакуумным клапаном 6 и электронагревателем 10.

После загрузки сырья включают вакуумный насос и питание блока управления. Нагрев испарителя осуществляется в автоматическом режиме блоком управления по достижении в вакуумной системе разрежения 10 Па. На этапе прогрева сырья, когда пенообразование отсутствует, световой поток от фотодатчика поступает на фотоприёмник, который формирует управляющий сигнал

высокого уровня. По сигналу от фотоприёмника блок управления обеспечивает открытое положение вакуумного клапана и непрерывную откачку испарителя.

При закипании жидкости образуется пена, которая, поднимаясь, перекрывает световой поток от фотодатчика. В отсутствие света фотоприёмник формирует управляющий сигнал низкого уровня, по которому блок управления переводит клапан из открытого положения в положение отсечки и одновременно отключает нагрев испарителя. В отсутствие откачки и нагрева температура и давление в испарителе продолжают повышаться за счёт теплообмена между рабочей жидкостью в рубашке и перерабатываемым сельскохозяйственным сырьём. Повышение давления уменьшает пенообразование, и пена оседает.

При снижении уровня пены ниже оптической оси оптопары блок управления возвращает вакуумный клапан в открытое положение. После открытия клапана давление в испарителе понижается, усиливая пенообразование. При превышении уровнем пены оптической оси оптопары блок управления вновь переводит клапан в режим отсечки. Регулирование уровня пены в испарителе осуществляется до момента перехода выпариваемой жидкости в режим объёмного кипения. При объёмном кипении усиливается поступление и конденсация пара в горизонтальном конденсаторе, охлаждение конденсата в вертикальном конденсаторе и его поступление в сборник. По достижении установившегося режима выпаривания блок управления подаёт сигнал на включение нагрева. Задержка включения обеспечивается таймером, входящим в состав блока

управления, и может быть отрегулирована оптимальным образом в зависимости от типа перерабатываемого сырья. После выхода в установившийся режим выпаривания температуру в испарителе поддерживают на заданном уровне с помощью регулятора температуры. Структурная схема блока управления пеноподавлением приведена на рис. 2.

При включении питания блок начальной установки (БНУ) устанавливает в нулевое состояние триггеры включения (ТВ) и установки (ТУ), а также таймер задержки через устройство установки таймера (УУТ). Прямой выход ТВ воздействует на узел включения нагрузки (УВН), обратный выход – на усилитель тока (УТ). Усилитель по сигналу с обратного выхода ТВ переводит вакуумный клапан (ВК) в открытое положение. При открытом клапане вакуумный насос откачивает испаритель. Сигнал с прямого выхода ТВ блокирует нагреватели через УВН и регулятор температуры (РТ). Блокировка осуществляется на 60–90 мин, в течение которых в вакуумной системе создаётся разрежение 10 Па. По достижении разрежения 10 Па таймер установки переводит ТВ в единичное состояние, и управление УТ осуществляется формирователем импульсов (ФИ). Управляющий сигнал прямого выхода ТВ разрешает работу УВН и РТ. УВН через автоматический переключатель (АП) подключает нагреватели к силовой цепи. РТ поддерживает температуру рабочей жидкости в рубашке испарителя в диапазоне 60–80 °С в зависимости от стадии процесса выпаривания.

В отсутствие пенообразования световой сигнал фотодатчика (ФД) преобразуется фотоприёмником (ФП) в электрический сигнал, который после усиления усилителем напряжения (УН), в свою очередь, преобразуется формирователем ФИ в импульсы напряжения прямоугольной формы, при этом сигнал высокого уровня (логическая единица) на выходе ФИ соответствует отсутствию пенообразования в испарителе. Сигнал формирователя обеспечивает открытое положение ВК и одновременный перевод ТУ в единичное состояние. Передний фронт сигнала с прямого выхода ТУ запускает одновибратор (ОВ), импульс которого через УУТ переводит таймер задержки в нулевое положение. По окончании действия импульса ОВ сигнал с обратного выхода ТУ через электронный ключ (ЭК) разрешает подачу тактовых импульсов от генератора (Г) на таймер задержки. По истечении времени, обеспечивающего подавление пенообразования, таймер задержки разрешает работу УВН.

При превышении уровнем пены оптической оси оптопары световой поток от фотодатчика не достигает фотоприёмника, и сигнал с выхода УН через БНУ переводит ТУ в нулевое положение, блокируя УВН и нагрев сырья. Одновременно сигнал низкого уровня с выхода ФИ блокирует УТ, при этом ВК отсекает испаритель от насоса. Повторный нагрев происходит в автоматическом режиме после снижения уровня пены ниже оптической оси оптопары.

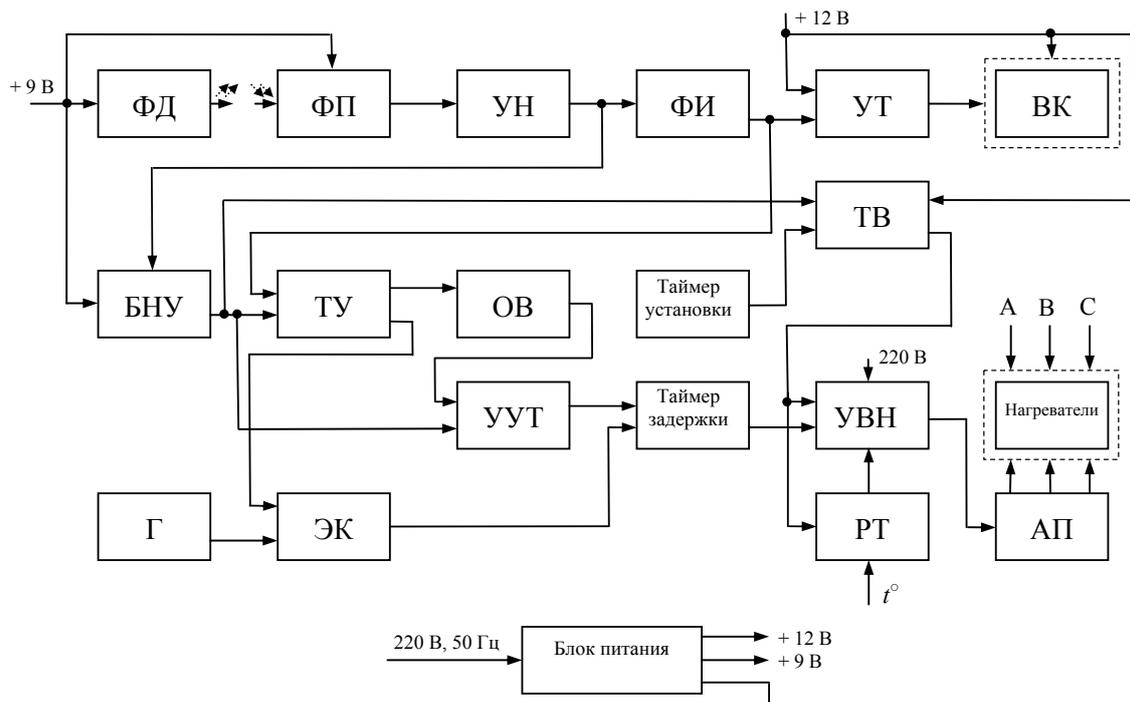


Рис. 2. Структурная схема блока управления пеноподавлением

В ходе испытания в процессе откачки давление в вакуумной системе медленно уменьшалось и после истечения 70 мин достигло 10 Па. Затем таймер установки включал нагрев испарителя. По истечении 45 мин нагрева на поверхности сока появилась пена. Медленно поднимаясь, она перекрывала световой поток от фотодатчика, и блок управления обеспечивал отсечку испарителя от насоса и отключение нагрева. Через две минуты после отсечки испарителя пена оседала, световой поток от фотодатчика достигал фотоприёмника, и блок управления переводил клапан в открытое положение. Подсоединение испарителя к вакуумному насосу сопровождалось резким подъёмом пены, перекрывшей световой сигнал. В отсутствие светового потока на фотоприёмнике блок управления вновь перевёл клапан в положение отсечки. В течение следующих четырёх минут произошло двукратное регулирование уровня пены в автоматическом режиме путём отсечки и подключения испарителя к насосу. По завершении регулировки выпаривание стало осуществляться в установившемся режиме, когда в сборник начал интенсивно поступать конденсат. Через семь минут после первого подъёма пены таймер задержки осуществил включение элек-

тронагревателей, обеспечив управление процессом выпаривания через регулятор температуры.

Таким образом, разработано устройство автоматического пеноподавления при выпаривании жидкого сельскохозяйственного сырья в вакууме. Проведены испытания устройства при удалении влаги из сока чёрной смородины. Достигнуто повышение эффективности процесса пеноподавления за счёт замены ручного режима регулирования автоматическим.

Работа выполнена при поддержке гранта министерства образования и науки РФ № 14.740.11.0513, 2010 г.

Библиографические ссылки

1. Емельянов А.А. Ресурсосберегающая переработка плодово-ягодного сырья при пониженных температурах // Пищевая промышленность. 2009. № 7. С. 28–29.
2. Емельянов А.А., Долженков В.В., Емельянов К.А. Вакуумный дистиллятор // ПТЭ. 2008. № 5. С. 146–149.
3. Емельянов А.А., Емельянов К.А. Подавление пены при выпаривании жидкого сельскохозяйственного сырья в вакууме // Пиво и напитки. 2009. № 1. С. 38–39.
4. Патент № 2328170 RU. Способ удаления влаги в вакууме / А.А. Емельянов, К.А. Емельянов, В.В. Долженков, Г.А. Золотарёв. Опубл. 10.07.2008. Бюл. № 19.

УДК 621.822.5.032

И.Ф. Дьяков, д-р техн. наук, проф. (Ульяновский государственный технический университет),
Ю.В. Моисеев, канд. экон. наук (ЗАО «Система безопасности», г. Ульяновск)

i.dyakov@ulstu.ru

СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ

Изложен способ снижения износа подшипников скольжения высокоскоростных звеньев путём создания давления, обеспечивающего повышение жёсткости гидродинамических опор вращающихся тел.

Ключевые слова: износ, опора, подшипниковый узел, карман, утечка, демпфер.

Lowering wear method of the sliding bearing for the high speed links through the pressure creation that provide the stiffness growth of the rotating objects hydrodynamic bearings is stated.

Key words: wear, support, bearing unit, pocket, leakage, damper.

Введение. При износе подшипников скольжения возникает торцевая утечка масла и увеличивается скорость смещения вала в опорном узле. Известные формулы [1] для определения оптимальной толщины смазочного слоя, исключаящей «заедание» трущихся деталей, недостаточно полно учитывают минимальную толщину смазочного слоя, переходные угловые скорости и торцевую утечку масла при расчётах. Это приводит к повышению рабочих температур и нагрузок в узлах трения.

Применение расчётных зависимостей торцевой утечки масла от коэффициента нагруженности подшипника не позволяет точно определять толщину смазочного слоя и минимальный зазор узла трения при высокоскоростном вращении. Снижение угловой скорости вала, работающего при переменных нагрузках, и вязкости смазочного масла может привести к переходу в режим смешанного трения и выходу из строя трущихся деталей. Для надёжной работы подшипника должны быть обеспечены достаточно большое отношение рабочей

угловой скорости к переходной и давление в зоне контакта трущихся деталей.

Основная часть. Гидродинамическое давление, создаваемое между валом и подшипником скольжения, влияет на износ трущихся пар, работающих при переменных режимах нагружения за счёт сохранения толщины и вязкости смазочного слоя.

Для надёжной работы подшипника скольжения необходимо превышение рабочей угловой скорости ω над переходной $\omega_{\text{п}}$. Рекомендуется принимать отношение $\omega/\omega_{\text{п}} \geq 3$ при $v \leq 3$ м/с и $\omega/\omega_{\text{п}} \geq |v|$ при $v > 3$ м/с, где v , $|v|$ – рабочая и переходная скорости скольжения вала в подшипнике соответственно [1]. Если принять, что при переходе в режим смешанного трения предельная толщина смазочного слоя h_{min} в подшипнике равна сумме высот неровностей поверхностей скольжения, которые срезаются в процессе работы (рис. 1), а зазор между вращающимися телами увеличивается, то давление в подшипниковом узле уменьшается. На основании классической теории подшипников скольжения минимальный зазор между валом и подшипником скольжения можно определить по формуле

$$h_{\text{min}} = \omega_{\text{п}} \mu d / (\delta_0 \rho \Psi), \quad (1)$$

где μ – динамическая вязкость смазочного масла; d – номинальный диаметр подшипника; δ_0 – коэффициент, учитывающий влияние торцевой утечки смазочного материала; ρ – среднее гидродинамическое давление в подшипнике; Ψ – относительный зазор.

Из формулы (1) видно, что с увеличением торцевой утечки смазочного масла по мере износа подшипников толщина смазочного слоя снижается и происходит «заедание» подшипника. В результате необходимо повысить давление в зоне скольжения или использовать карманы для уплотнения торцевых поверхностей.

Торцевую утечку смазочного материала можно определить из уравнения

$$\delta_0 = 2/[c_{\omega}(1-\chi)],$$

где c_{ω} – коэффициент нагруженности подшипникового узла; χ – относительный эксцентриситет при переходе от жидкостного трения к смешанному.

Коэффициент нагруженности подшипникового узла зависит от отношения длины подшипника к его диаметру и относительного эксцентриситета. Если относительный эксцентриситет колеблется в небольших пределах ($\chi = 0,95-0,99$), то коэффициент утечки можно принимать как отношение ширины подшипника к диаметру вала (l/d).

В процессе работы давление масла в кармане и коэффициент нагруженности подшипника сколь-



Рис. 1. Характер износа подшипника скольжения в режиме смешанного трения

жения увеличиваются. При этом относительный эксцентриситет при переходе от жидкостного трения к смешанному уменьшается, а торцевая утечка смазочного материала снижается.

При малых удельных нагрузках в подшипнике, когда упругие деформации трущихся поверхностей и изменение вязкости смазочного материала незначительны, формула (1) даёт удовлетворительные результаты по нижнему пределу диапазона рабочих угловых скоростей. Тогда подшипник работает без износа, торцевая утечка минимальна, а при высоких удельных нагрузках завывшена.

При выборе h_{min} учитывают неточность изготовления поверхностей вала и подшипника скольжения, деформацию его крышки и перекося шипов вала.

Расчёт гидродинамического давления в упругом подшипнике приведён в работе [1]. Для определения h_{min} получена функция, учитывающая упругое изменение геометрии зазора в подшипнике и вязкости смазочного материала от давления $\rho = f(w)$, где w – безразмерная характеристика минимального зазора.

При этом

$$\rho = \frac{2h_{\text{min}}}{d} \sqrt{\frac{E_{\text{пр}} \Psi}{\mu \omega_{\text{п}}}}; \quad w = 2\rho \sqrt{\frac{\Psi}{E_{\text{пр}} \mu \omega_{\text{пр}}}},$$

где $E_{\text{пр}}$ – приведённый модуль упругости материала вала и подшипника.

Переходная угловая скорость в основном зависит от гидродинамического давления и минимального зазора:

$$\omega_{\text{п}} = \frac{4}{pw} \frac{p \Psi h_{\text{min}}}{\mu d}.$$

Из представленных зависимостей видно, что торцевая утечка смазочного материала происходит не только при переходе от жидкостного тре-

ния к смешанному, но зависит и от геометрических параметров подшипникового узла. Гидродинамическое давление в подшипниковом узле можно сохранить за счёт использования торцевого уплотнения.

Разработана конструкция для уплотнения вращающегося вала [2], которая снабжена маслосъёмным элементом и поджимающим его к валу упругим элементом. Маслосъёмный элемент выполнен в виде клиновидной формы с внутренней цилиндрической поверхностью и расположен в зоне входного отверстия дренажного канала. Такое уплотнение удаляет масло с поверхности вала и не обеспечивает достаточное превышение рабочей угловой скорости, при которой наступает период перехода в режим смешанного трения.

Имеющиеся конструкции для уплотнения валов и осей [3] содержат пьезоэлементы из кристаллов кварца, которые возбуждаются генератором частоты в пространстве между подшипником и валом. Таким образом, создавшееся давление за счёт колебания пьезокристаллов не позволяет маслу вытекать из рабочей полости. Уплотнение в кольцевой полости [4] представляет собой языкообразный карман. Поверхности полости и кармана образуют острый угол, который направлен против вращения вала. В глубине кармана находятся сливные отверстия, связанные с полостью подшипникового узла. В результате торможения потока масла давление в глубине кармана повышается, и оно сливается через отверстие в корпусе подшипникового узла. В кольцевой полости давление понижается, и тем самым предотвращается вытекание смазки наружу.

Недостатком этих уплотнений горизонтальных валов и осей в узлах жидкостного трения является низкая надёжность работы подшипникового узла из-за съёма масла с поверхности трения. Кроме того, сложность конструкции не обеспечивает снижение радиальной жёсткости гидростатической опоры при произвольном направлении нагрузки, что неприемлемо для вращающихся валов с подшипниками скольжения.

Особенностью предлагаемой конструкции [5] подшипникового узла является то, что вал снабжён поверхностными торцевыми упрочнёнными полосками. В процессе износа в подшипниках скольжения из-за различной твёрдости трущихся поверхностей образуются карманы. В этих карманах повышается давление, увеличивается гидродинамическая жёсткость опоры и сопротивление торцевой утечке масла. При этом радиальная жёсткость при эксцентриситете $\epsilon = 0$ для гидростатических опор с произвольным числом карманов и при произвольном направлении нагрузки выражается зависимостью

$$c(o) = \sum_{i=0}^n A_i \left(\frac{\partial p_i}{\partial \epsilon} \right)_{\epsilon \rightarrow 0} \quad (2)$$

где $c(o)$ – радиальная жёсткость гидростатической опоры; A_i – коэффициенты, зависящие от геометрических параметров опоры и направления нагрузки; n – число карманов.

Жёсткость гидростатической опоры с взаимным обратным дросселированием (при $n = 2k$, где k – число ленточек на валу) вычисляем дифференцированием по ϵ и при $\epsilon \rightarrow 0$ получим систему уравнений непосредственно для величины $\left(\frac{dp_i}{d\epsilon} \right)_{\epsilon \rightarrow 0}$, через которые выражается $c(o)$.

Данную систему уравнений можно свести к одному уравнению, в котором неизвестной будет сумма, стоящая в правой части выражения (2).

Обозначим $\left(\frac{dp_i}{d\epsilon} \right)_{\epsilon \rightarrow 0} = \hat{p}_i$. Исходная система уравнений для определения давления в карманах получается из уравнений баланса расхода смазки для каждого кармана. При этом учитываются следующие потоки при одном кармане: поток смазки от полости с давлением p_H в приёмный карман; поток из несущего кармана в полость слива. Если имеется несколько карманов, то учитываются и осевые потоки между соседними карманами.

Продифференцировав исходную систему уравнений по ϵ и вычислив пределы её левых и правых частей при $\epsilon \rightarrow 0$, а затем выразив входящие в неё в качестве коэффициентов гидравлические сопротивления и их производные через геометрические параметры подшипниковой опоры (рис. 2, а), получим систему уравнений для одного кармана

$$2\hat{p}_1 \left[\frac{2\pi}{k} \left(\frac{r}{b_1} + \frac{r}{b_2} \right) + \frac{b_3 + b'_3}{b_1} \right] - \hat{p}_{k+1} \frac{b_3 - b'_3}{b_1} =$$

$$= -6p_H \frac{r}{b_1} \sin \frac{\pi}{2k} \cos \left[\frac{\pi}{2k} (2k+1) + \alpha \right];$$

$$2\hat{p}_2 \left[\frac{2\pi}{k} \left(\frac{r}{b_1} + \frac{r}{b_2} \right) + \frac{b_3 + b'_3}{b_2} \right] - \hat{p}_{k-1} \frac{b_3 - b'_3}{b_2} =$$

$$= -6p_H \frac{r}{b_2} \sin \frac{\pi}{2k} \cos \left[\frac{\pi}{2k} (k-1) + \alpha \right],$$

где \hat{p}_1, \hat{p}_2 – давление на входе и выходе кармана соответственно; r – радиус шейки вала; b_1, b_2 – ширина ленты входного и выходного кармана; b_3 – эффективная длина несущего и приёмного кармана; α – угол, под которым направлена нагрузка.

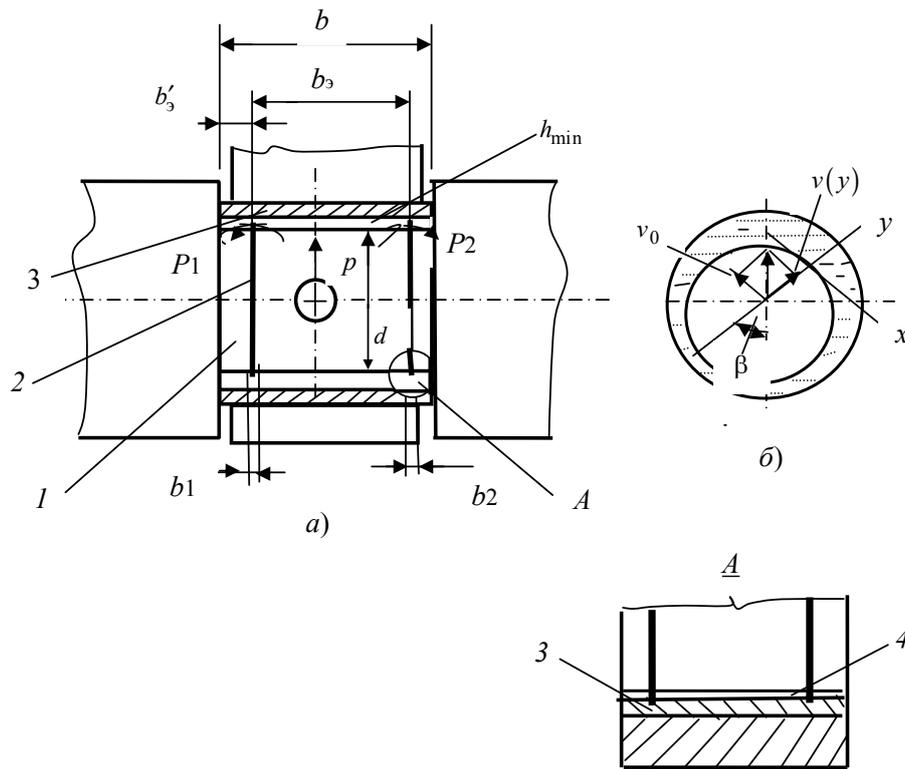


Рис. 2. Расчётная схема подшипника скольжения (а), распределение скоростей движения смазочного масла (б):

1 – вал; 2 – упрочнённая кольцевая полоска; 3 – подшипник скольжения; 4 – карман

Введя обозначения $\frac{2\pi r}{k b} = a$; $\frac{2\pi r}{k b_2} = d$; $\frac{b_3 - b'_3}{b_1} = v$; $\frac{a}{v} = c_1$; $\frac{d}{v} = c_2$ и сделав замену переменных, определим давление на входе в карман:

$$\hat{p}_1 = - \frac{3p_n \frac{r}{b_1} \sin \frac{\pi}{2k} \cos \left[\frac{\pi}{2k} (2k+1) + \alpha \right]}{\left[(c_1 + c_2) + 1 \right] + p_{k+1}},$$

а давление на выходе из него при $b_1 = b_2$ равно $\hat{p}_2 = \hat{p}_1$. В данном случае можно считать давление равномерно распределённым по толщине слоя смазочного масла и зависящим лишь от координаты x , отсчитываемой по длине дуги окружности от верхней точки подшипника.

На внутренней поверхности слоя касательная составляющая скорости жидкости с координатой y в точке с угловой координатой β будет $v = v_o \sin \beta$. На внешней поверхности ($y = h_{\min}$) она составит $v = 0$ (рис. 2, б). Из условия симметрии скорости очевидно, что расход масла через верхнее и нижнее сечения кольцевого зазора равен нулю. Тогда объём смазочного масла, вытесненный в верхней правой части слоя, ограниченной углом β , равен объёму масла, протекающему через сечение, соответствующее тому же углу β :

$$\int_0^\beta v_o r \cos \beta \, d\beta = \int_0^h v(y) \, dy,$$

где $v(y)$ – зависимость скорости смазочного масла от координаты y , т. е. от толщины слоя масла.

Используя условие $v = 0$ при $y = h$, при распределении давления в кармане получим

$$\frac{dp}{dx} = - \frac{6\mu v_o}{h} \left[2 \frac{r}{h} - 1 \right] \sin \beta. \tag{3}$$

Проинтегрировав выражение (3) при условии, что $x = \beta r$ и $\frac{dp}{dx} = \frac{1}{r} \frac{dp}{d\beta}$, найдём

$$\rho = \hat{p}_i + \frac{6\mu v_o r}{h^2} \left(2 \frac{r}{h} - 1 \right). \tag{4}$$

Для определения тангенциального напряжения на внутренней поверхности слоя используем уравнение

$$\tau = \frac{2\mu v_o}{h} \left(3 \frac{r}{h} - 2 \right) \sin \beta. \tag{5}$$

Результирующую гидравлическую силу, действующую со стороны жидкости на внутреннюю цилиндрическую часть подшипника, найдём из формулы

$$F = 4rl \int_0^{\pi/2} (p \cos \beta + \tau \sin \beta) d\beta. \quad (6)$$

После подстановки уравнений (4) и (5) в выражение (6) и интегрирования получим

$$F = kv_o,$$

где k – коэффициент демпфирования опоры ($k = 12\pi\mu l(r/h)^3$).

Из приведённых формул следует, что радиальная жёсткость пропорциональна гидравлическому демпфированию, и при малых эксцентриситетах коэффициент демпфирования не зависит от угла α , что полностью согласуется с экспериментальными данными работы [1].

Конструкция подшипникового узла (рис. 2, а) состоит из вала 1, поверхностных торцевых упрочнённых кольцевых полосок 2, подшипника скольжения 3, карманов 4 на подшипнике скольжения и рабочей пространственной полости подшипникового узла.

Процесс упрочнения поверхностных торцевых кольцевых полосок шириной не более 3–5 мм осуществляют электромеханической или лазерной обработкой. При вращении вала поверхностные торцевые упрочнённые кольцевые полоски срезают антифрикционный слой на подшипнике скольжения за счёт различной твёрдости трущихся поверхностей и образуют карманы. В пространственной полости между двумя поверхностными торцевыми упрочнёнными кольцевыми полосками создается давление, которое повышает гидравлическую жёсткость опоры $s(o)$ и не позволяет уплотняемой среде, например маслу, вытекать из рабочей пространственной полости подшипникового узла.

Результаты исследования показали, что при больших значениях $\omega = 104,6$ рад/с и $r/h_{\min} = 1333$ гидравлическая сила инерции масла равна демпфирующей силе, радиальная жёсткость с постоянным гидравлическим сопротивлением входу смазки и её выходу с двух торцов составила 688 Н/мкм при расходе масла 3,1 л/мин. На рис. 3 приведена кривая торцевой утечки δ_o в зависимости от отношения длины несущего кармана к диаметру вала. Исследования показали, что целесообразно принимать ширину полоски $b_2 = kd$, где k – постоянный коэффициент, равный 0,03–0,07. Большее значение коэффициента k соответствует меньшему диаметру вала. Длину подшипника можно принимать в пределах $b = (1 \dots 2)d$. Её дальнейшее увеличение хотя и позволяет повысить жёсткость

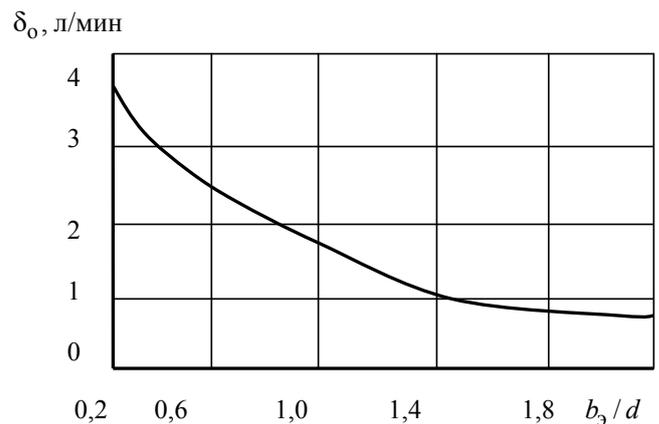


Рис. 3. Зависимость изменения величины торцевой утечки смазочного масла от геометрических размеров подшипника скольжения

и несущую способность узла, но требует более строгой соосности рабочих поверхностей вала.

Для увеличения ресурса вала и подшипника скольжения необходимо обеспечивать ширину кольцевой полоски по возможности меньшей, так как давление масла в выходном канале противоположно направлению давления в кармане. Вязкость масла выбирается так, чтобы потери на трение и расход через проточки в подшипнике скольжения не превышали допустимых значений.

Заключение. Полученные результаты позволяют определить оптимальное число карманов в зависимости от конкретных требований, предъявляемых к данному подшипнику, выбирать параметры кармана, вязкость масла и минимальный зазор, обеспечивая повышение работоспособности подшипникового узла при переменных режимах нагружения в 2–3 раза.

Библиографические ссылки

1. Гордеев А.Ф., Соколов Ю.Н. Расчёт радиальных гидростатических шпиндельных подшипников // Исследование металлорежущих станков. М.: Машиностроение. 1968. С. 341–357.
2. А.с. 1585603 СССР, МКИ F 16 J 15/54. Уплотнение подшипникового узла горизонтального вала / А.Ю. Зубарев, А.П. Коропец, Л.М. Чистякова. № 4455504 / 31-29; заявл. 12.07.89; опубл. 15.08.90. Бюл. № 30.
3. А.с. 460396 СССР, МКИ FJ 15/54. Способ уплотнения валов и осей / П.А. Варанаускас. № 1779842/25-80; заявл. 03.05.72; опубл. 15.02.75. Бюл. № 6.
4. А.с. 310076 СССР, МКИ F 16 O 15/54. Бесконтактное уплотнение / М.А. Шиманович, В.Я. Рассосин и др. № 1331865/25-8; заявл. 03.06.70; опубл. 01.01.71. Бюл. № 23.
5. Патент 2357140 РФ, МПК F 16 J 15/54. Уплотнение горизонтальных валов и осей / И.Ф. Дьяков, Ю.В. Моисеев, А.В. Попович; заявитель и патентообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. № 2007111218/06; заявл. 27.03.07; опубл. 27.05.09. Бюл. № 15.

УДК 621.9.06-52

Г.А. Рустамов, д-р техн. наук, проф., И.А. Ёлчуев
(Азербайджанский технический университет, г. Баку)

yolch_i_a@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОНОМНОСТИ ГЕНЕРАТОРА ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Предложена методика обеспечения автономности генератора с переменной структурой по параметрам «амплитуда» и «частота».

Ключевые слова: генератор, частота, амплитуда, автономность, предельный цикл, вибрационное резание, Simulink.

Autonomy guaranteeing method of the generator with variable structure on characteristic “amplitude” and “frequency” is proposed.

Key words: generator, frequency, amplitude, autonomy, utmost cycle, vibratory cutting, Simulink.

Введение. Характерной особенностью генераторов гармонических колебаний является так называемая связанность амплитуды и частоты [1, 2], что объясняется физической природой колебательных систем, стремящихся минимизировать рассеяние энергии. При управлении генератором связанность затрудняет его настройку. Целью настройки является обеспечение независимости уставок амплитуды и частоты гармонических колебаний. Обеспечение развязки, т. е. автономности по указанным параметрам, часто является перво-степенной задачей.

В данной статье рассмотрена задача обеспечения статической развязки или автономности для виртуального (компьютерная модель) генератора второго порядка с переменной структурой [1, 2].

Постановка задачи. Рассмотрим генератор с переменной структурой [1]:

$$\ddot{x}(t) + 2h\dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = F(t), \quad (1)$$

$$F(t) = \begin{cases} \omega_0^2 I, & \text{если } \dot{x} > 0; \\ 0, & \text{если } \dot{x} < 0, \end{cases}$$

где $2h$, ω_0^2 – коэффициенты трения и жёсткости; I – максимальное значение внешнего воздействия.

При входных сигналах $F(t) = \omega_0^2 I$ и $F(t) = 0$ колебательный процесс состоит из затухающих спиралей с одинаковым периодом $T = 2\pi/\omega$ с точками равновесия $x_0 = I$ и $x_0 = 0$ соответственно. Круговая частота задаётся выражением

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - h^2}. \quad (2)$$

Основным требованием, предъявляемым к генератору (1), является автономное управление амплитудой и частотой выходных колебаний.

Решение задачи. Запишем выражение для амплитуды предельного цикла:

$$A = \frac{I}{1 - e^{-hT/2}} = \frac{I}{1 - e^{-\pi h/\omega}}. \quad (3)$$

Как видно из выражений (2) и (3), параметры генератора h и ω_0^2 одновременно влияют как на величину ω , так и через неё на величину A . Однако величина внешнего воздействия I влияет только на амплитуду A . Исходя из этого предлагается следующая методика обеспечения автономности в установившемся режиме.

Амплитуда A регулируется путём изменения значения I .

Для регулирования частоты ω воспользуемся параметром ω_0^2 . При этом одновременно необходимо изменить величину h таким образом, чтобы определяемая по выражению (3) амплитуда A оставалась постоянной.

Для обеспечения этой цели достаточно поддерживать знаменатель выражения (3) постоянным:

$$\eta = e^{-\pi h/\sqrt{\omega_0^2 - h^2}} = \text{const}, \quad 0 < \eta < 1. \quad (4)$$

Параметр η задаётся технологом.

Необходимо изменить величины ω_0^2 и h таким образом, чтобы выполнялось условие (4), из которого находим линейную зависимость

$$h = \mu \omega_0, \quad (5)$$

$$\text{где } \mu = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\pi}{\ln \eta}\right)^2}}.$$

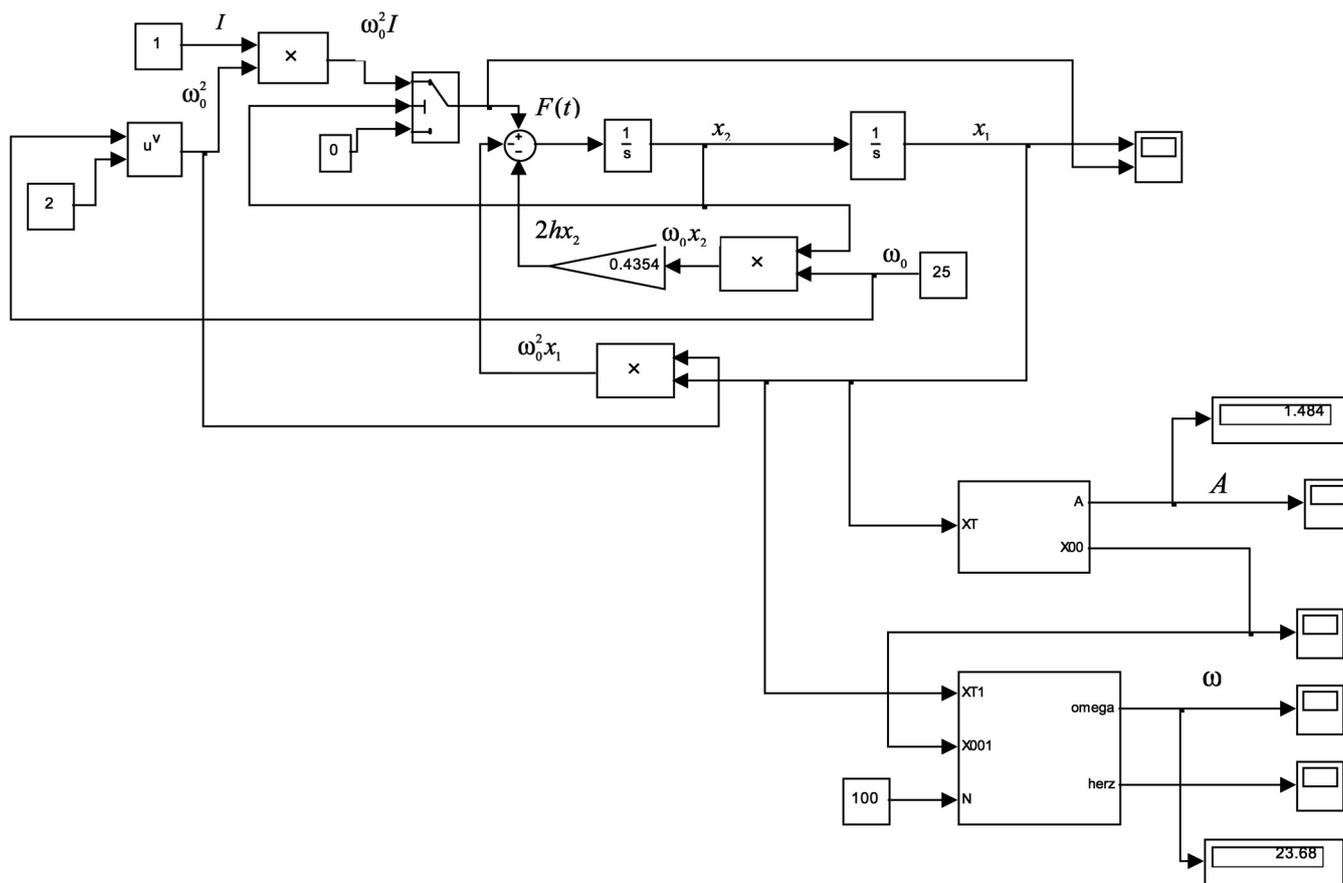


Рис. 1. Схема моделирования автономного генератора совместно со схемами измерения величин A и ω

Поскольку $0 < \mu < 1$, то одновременно выполняется и условие колебательности $D = h^2 - \omega_0^2 < 0$, т. е. $h^2 < \omega_0^2$.

Учитывая выражение (5) в формуле частоты $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - h^2}$, получим

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \mu^2 \omega_0^2} = \gamma \omega_0; \tag{6}$$

$$\gamma = \sqrt{1 - \mu^2}.$$

Пусть $\eta = 0,5$, тогда $\mu = 0,2154$, $\gamma = 0,9765$.

Таким образом, при изменении ω_0 частота меняется согласно выражению (6). Однако для сохранения постоянства амплитуды согласно уравнению (5) одновременно необходимо изменить значение h .

При цифровой реализации для обеспечения возможности изменения параметров ω_0 и h уравнение (1) следует представить в виде системы дифференциальных уравнений Коши:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2; \\ \dot{x}_2 &= -\omega_0^2 x_1 - 2hx_2 + F(t), \end{aligned} \tag{7}$$

где $x_1 = x$, $x_2 = \dot{x}$ – фазовые переменные.

На рис. 1 показана схема моделирования в программном пакете Simulink автономного генератора, реализованного с использованием выражения (7) при $\eta = 0,5$.

Схемы измерения амплитуды и частоты, построенные с учётом работы [3], являются неотъемлемой частью компьютерного проектирования вибрационных систем.

На рис. 2, а, б соответственно показаны выходной сигнал $X(t)$ и управление $F(t)$ при $\eta = 0,5$, $\omega_0 = 25 \Rightarrow h = 5,385$, $I = 1$.

На рис. 3 представлен соответствующий фазовый портрет. Параметры амплитуда A и частота ω предельного цикла не зависят от начальных условий, а определяются параметрами η и ω_0 системы.

На рис. 4, а показаны переходные процессы по $A(t)$ при $\eta = 0,5$, $\omega_0 = 25$ и различных значениях сигнала управления I :

$$1 - I = 10, \quad A(\infty) = 14,84;$$

$$2 - I = 5, \quad A(\infty) = 7,42;$$

$$3 - I = 1, \quad A(\infty) = 1,48.$$

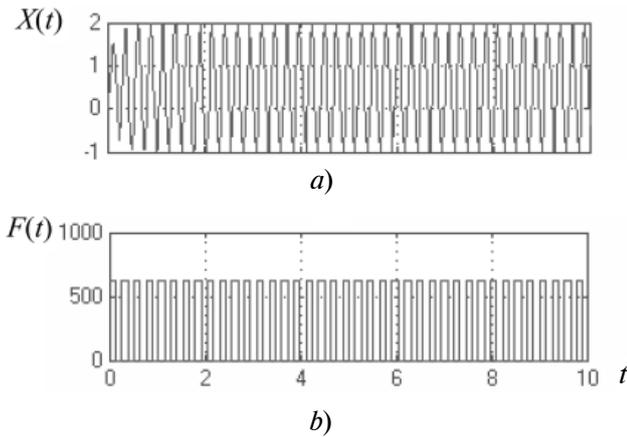


Рис. 2. Выходной сигнал $X(t)$ и управление $F(t)$:
a – выходной сигнал; *b* – управление

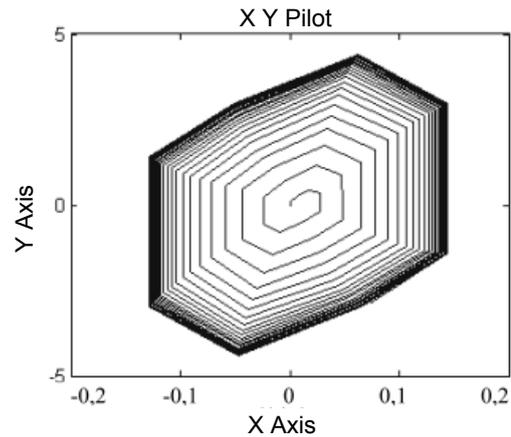


Рис. 3. Фазовый портрет генератора

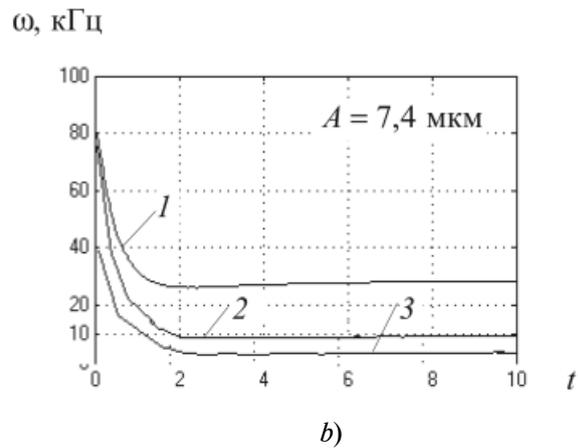
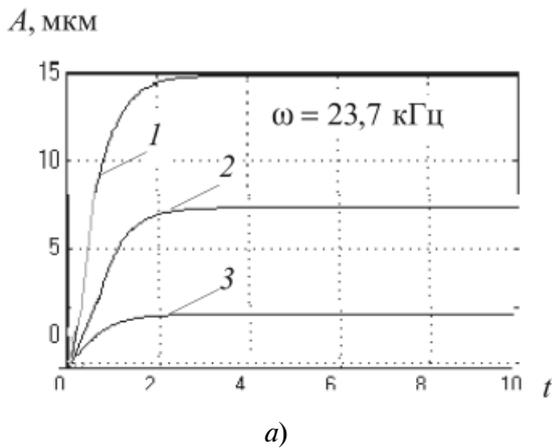


Рис. 4. Переходные процессы автономного генератора:

a - переходные процессы по амплитуде A ; *b* - переходные процессы по частоте ω

При всех значениях I частота оставалась постоянной $\omega(\infty) = 23,7$ кГц. На рис. 4, *b* показаны переходные процессы по $\omega(t)$ при $\eta = 0,5$, $I = 5$ и различных значениях ω_0 :

$$4 - \omega_0 = 30, \omega(\infty) = 28,45; 5 - \omega_0 = 10,$$

$$\omega(\infty) = 9,38; 6 - \omega_0 = 5, \omega(\infty) = 4,64.$$

При всех значениях ω_0 амплитуда оставалась постоянной: $A(\infty) = 7,42$ мкм.

Установившиеся значения $A(\infty)$ и $\omega(\infty)$ достигаются за время $t_p \approx 2$ с.

Как видно, изменение I не повлияло на частоту ω , а изменение ω_0 не повлекло за собой изменение амплитуды A .

Заключение. Таким образом, в установившемся режиме обеспечивается условие автономности, что позволяет в отдельности настраивать амплитуду и частоту генератора путём изменения параметров I и ω_0^2 . Предложенную методику настройки можно применить и к другим типам генераторов, отли-

чающихся от рассматриваемого. Достоверность полученных теоретических результатов проверена моделированием системы на пакете Matlab/Simulink.

Результаты компьютерного проектирования использованы при создании системы вибрационного резания сверхтвёрдых материалов с пьезоэлектрическим преобразователем [4].

Библиографические ссылки

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981, 620 с.
2. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фужаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. М.: Наука, 1987. 216 с.
3. Данилов А.И. Построение на элементах Simulink измерителей фазы, частоты и амплитуды // Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB: Труды II науч. конф. Москва, 2005. С. 1458–1465.
4. Гурбанов Т.Б., Намазов М.Б., Ёлчуев И.А. и др. Система управления металлообрабатывающих станков с применением ультразвуковых упругих колебаний // АзТУ «Учёные записки». Баку, 2001. Т. X. № 3. С. 94–98.

УДК 664.8.036.5:620.1-52(06)

Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев, д-р техн. наук, проф. (Калининградский государственный технический университет)

nic 7493@mail.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КОНСЕРВОВ

Предложена и экспериментально обоснована модель автоматизированной системы контроля герметичности консервов на основе средств технического зрения.

Ключевые слова: автоматизация, контроль, герметичность, консервная банка с продуктом, система технического зрения.

Automatic control system model of the tinned food leak tightness from a technical vision means is proposed and experimentally substantiated.

Key words: automation, control, leak tightness, tinned food, technical vision system.

Консервированные продукты пользуются повышенным спросом. Основными факторами, обеспечивающими длительность хранения и качество консервированных продуктов, являются качество исходного сырья, тары и соблюдение технологического регламента на всех стадиях производственного процесса. Изготовление тары, её укупоривание и контроль герметичности – важнейшие технологические операции, обеспечивающие сохранность и безопасность консервов.

Одним из наиболее важных факторов, приводящих к негодности консервной продукции, является негерметичность тары, контролю которой уделяется особое внимание.

В настоящее время для контроля герметичности ёмкостей в промышленном производстве используются устройства, основанные на различных физических принципах [1]. На практике для измерения (контроля) герметичности укупоренных консервных банок с продуктом используется оборудование отечественных и зарубежных фирм (например, Bentos Inc., Dun-Rite Products, Peco Corp. (США)) [2]. Оценка герметичности с помощью оборудования перечисленных фирм основана на контроле деформации тары и прежде всего швов. Однако это не обеспечивает заключения о нарушении герметичности, так как между деформацией банки и её разгерметизацией не существует однозначной связи. В настоящее время отсутствуют малогабаритные автоматизированные устройства для определения негерметичности консервов.

В Российской Федерации разработкой оборудования контроля герметичности укупоренной консервной тары с продуктом занимаются научно-исследовательские и конструкторские организации овощной, молочной, мясной и рыбной промышленности. Особенность проводимых исследований направлена в первую очередь на по-

вышение чувствительности метода и приборов контроля.

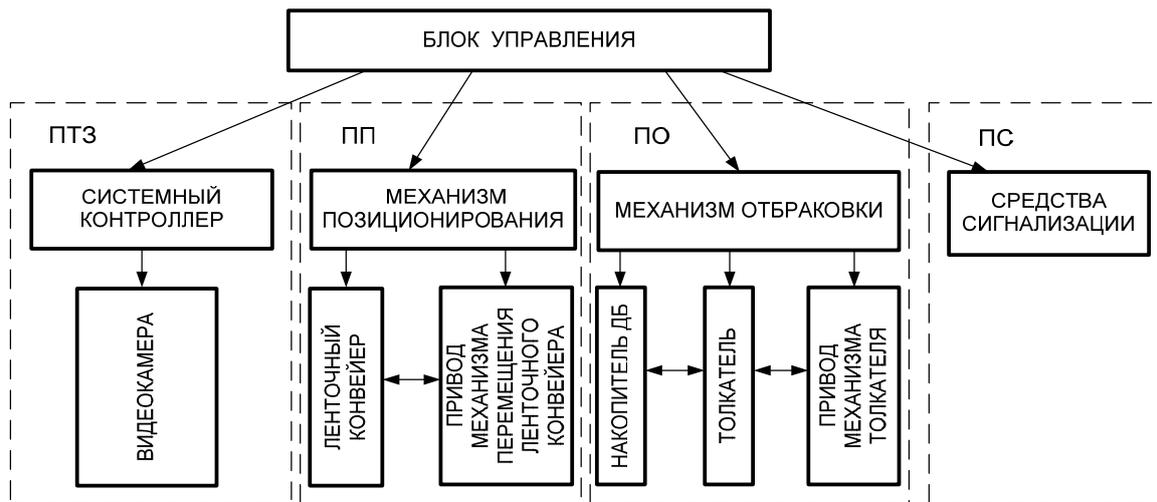
В промышленно освоенных и разрабатываемых образцах оборудования негерметичность укупоренных консервов оценивается по контролю утечки газа или падению давления в таре. При этом важным условием возможности применения методов контроля герметичности консервов являются их безопасность при контакте с пищевыми продуктами и отсутствие влияния на продукты консервации, что характерно при манометрическом и пневмогидравлическом методах контроля.

При манометрическом методе негерметичность тары определяют по наличию пятен жира или другой заливки на фильтровальной бумаге, которой обёртывают банки. Для контроля герметичности тары создаётся перепад давления в банке по отношению к окружающей среде за счёт нагрева банки или вакуумирования испытательной ёмкости [3]. При пневмогидравлическом методе негерметичность банки определяется по наличию пузырьков газа, выделяющегося из банки, помещённой в ёмкость с водой.

К общим недостаткам перечисленных выше способов относятся ручной труд, субъективность оценки результатов и длительность процесса контроля, что ограничивает их применение в автоматизированных технологиях.

Создание и внедрение автоматизированных систем контроля герметичности с использованием микропроцессорной техники и средств технического зрения позволяет решить указанную проблему без применения ручного труда на начальной стадии разгерметизации банки. Обобщённая схема системы контроля герметичности такого типа приведена на рисунке.

Указанная система состоит из подсистем технического зрения (ПТЗ), позиционирования (ПП), отбраковки (ПО) и сигнализации (ПС). Подсистема технического зрения, контролирующая по-



Обобщённая схема системы контроля герметичности

явление локальных выделений (подтёков), определяет чувствительность всей системы. Для установки консервных банок в зону обзора видеокамеры (рабочее положение) на ленточном конвейере используется ПП. Подсистема отбраковки обеспечивает удаление с помощью толкателя дефектных банок (ДБ) с конвейера в накопитель. Подсистема сигнализации информирует оператора световым и звуковым сигналами о наличии и количестве бракованных банок.

В процессе разработки системы рассматривались различные системы технического зрения. После проведения серии опытов создана экспериментальная система контроля герметичности на основе средств технического зрения ZFX фирмы «Omron» и видеокамеры ZFX-SC150 с зоной обзора 90×89 мм, разрешающей способностью 0,3 Мп при расстоянии до объекта 115 мм и выдержкой затвора не более $1/170$ с.

Масштаб вероятных протечек банок (локальных выделений) и возможность их выявления средствами технического зрения исследовались экспериментально. На металлическую поверхность из жести игольчатым дозатором наносились капли жидкости (растительное масло, томатный соус) массой $1 \pm 0,5$ мкг и размером $0,5 - 2,0$ м². Проводилось более 200 измерений. Возможность фиксации капель жидкости определялась по отпечаткам указанных выше доз на фильтровальной бумаге, фиксируемых как визуально, так и с помощью цифрового фотоаппарата с разрешающей способностью 2 Мп.

Анализ технических характеристик современных видеокамер систем технического зрения показывает, что их разрешающая способность находится от 0,3 до 10 Мп с площадью обзора от 45 до 22 200 мм², что удовлетворяет требованиям по-

ставленной задачи. Экспериментальные и расчётные результаты возможных размеров локальных выделений при негерметичности консервных банок с пищевыми продуктами соответствуют разрешающей способности современных средств технического зрения.

Аналитическим методом определялись протечки контролируемой среды через микродефекты закатоных швов консервных банок с использованием расчётных формул [4].

Объём жидкости, вытекающей из отверстия микродефекта в банке в единицу времени, рассчитывается по формуле

$$dm = \rho dV = \rho k_p f_0 \sqrt{2g \left(h + \frac{\Delta p}{\rho g} \right)} d\tau, \quad (1)$$

где f_0 – площадь отверстия дефекта в банке; $K_p = \alpha \varphi$ – коэффициент расхода; α – коэффициент сжатия струи.

Коэффициент скорости φ вычислялся с помощью коэффициента местного сопротивления ξ по формуле $\varphi = 1/\sqrt{1 + \xi}$.

Масса жидкости, вытекающая из отверстия микродефекта в банке за время $d\tau$, зависит от разности давления в банке и внешней среды Δp , плотности продукта ρ , уровня продукта в банке h и ускорения свободного падения g :

$$dm = \rho dV = \rho k_p f_0 \sqrt{2g \left(h + \frac{\Delta p}{\rho g} \right)} d\tau. \quad (2)$$

Если диаметр отверстия микродефекта в корпусе банки равен 1 мкм, то за 5 мин при $\Delta p = 40$ кПа, $\rho = 1020$ кг/м³, $\alpha = 0,62$ и $\xi = 0,5$ из отверстия вытечет растительное масло массой около 1,1 мкг.

Созданная автоматизированная система контроля герметичности испытывалась в достаточно жёстких условиях, при которых подтёки были меньше, чем в естественных условиях. Приведённые зависимости (1) и (2) позволяют оценить время выдержки банки с продуктом, обеспечивающее появление локальных выделений размером, достаточным для их регистрации средствами технического зрения. Расчётные значения вероятных локальных выделений при протечках из банок соответствуют экспериментальным результатам.

Для повышения достоверности контроля и создания предпосылок комплексной автоматизации консервного производства предложена и экспериментально обоснована возможность создания систем автоматизированного контроля герметичности консервов на основе средств технического зрения, не уступающая по чувствительности применяющимся в настоящее время средствам неавтоматизированного визуального контроля герме-

тичности. Полученные результаты подтверждают возможность использования автоматизированной системы контроля герметичности консервов для массового производства.

Библиографические ссылки

1. **Неразрушающий** контроль и диагностика. Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др. [под ред. В.В.Клюева]. 3-е изд., испр. и доп. М.: Машиностроение, 2005. 656 с.
2. **Ангелюк В.П.** Научные аспекты экологически эффективных процессов производственных систем консервных предприятий мясной промышленности: дис. ... д-ра техн. наук. Ставрополь: РГБ, 2006. 300 с.
3. **Седунова Г.Г., Чекулаева Л.В., Скобелева Н.В., Гераймович О.А.** Способ контроля герметичности металлических банок // Патент России № 2025730. 1994. Бюл. № 24/1994.
4. **Общий** курс процессов и аппаратов химической технологии. В 2 кн. Кн. 1 / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов [под ред. В.Г. Айнштейна]. М.: Логос, 2003. 872 с.



ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА: справочник

Под ред. **К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова**

3-е изд. переработанное и дополненное

2009. – 600 с.: ил. ISBN 978-5-94275-436-5

Цена 1100 р.

Содержит основные сведения по теории вакуума, расчету, конструированию и эксплуатации вакуумных систем и их элементов. Приведены физико-механические характеристики материалов, применяемых для изготовления элементов вакуумной аппаратуры, методы ее сборки и отладки, правила эксплуатации. Описаны приборы для измерения давления в вакуумных системах методы и средства течеискания. Даны сравнительные

характеристики отечественных и зарубежных образцов вакуумной техники.

3-е издание (2-е изд. 1992 г.) дополнено разделами по вакуумным смазкам и герметикам, нераспыляемым газопоглотителям, элементам газовых систем вакуумного технологического оборудования, безмасляным форвакуумным насосам, а также сравнительными характеристиками отечественных и зарубежных средств для получения вакуума и других элементов вакуумных систем.

Для инженерно-технических работников и специалистов, занимающихся конструированием, производством и эксплуатацией вакуумных систем, а также для студентов технических вузов.

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



УДК 621.048.6.06

М.А. Тамаркин, д-р техн. наук, проф., **Ю.А. Проскорякова**, канд. техн. наук, **Э.Э. Тищенко**, канд. техн. наук, доц. (Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону)
lina_tishenko@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С УЧЁТОМ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Разработана методика проектирования процесса центробежной обработки деталей. Проведён анализ контактных взаимодействий частиц среды с поверхностью обрабатываемой детали. Получены зависимости среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости, глубины наклёпанного слоя и степени наклёпа от основных технологических параметров процесса. Проведены исследования виброакустических характеристик процесса.

Ключевые слова: центробежная обработка, обработка в гранулированных рабочих средах, качество поверхности, виброакустические характеристики.

Designing methodology of the technological processes for the workpiece centrifugal treatment is devised. Contact interaction analysis of the environment particles with workpiece surface is carried out. Relations for average arithmetical deviation of the equilibrium roughness shape, clenched layer depths and clench degree from process basic technological parameters are derived. Research of the process vibroacoustic characteristics are carried out.

Key words: centrifugal treatment, treatment in the granulated working environments, surface quality, vibroacoustic characteristics.

В современном машиностроении одной из важнейших задач является повышение долговечности изделий, их эффективности и конкурентоспособности.

Для решения этих задач используют упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД), которое позволяет полностью реализовать потенциальные свойства конструкционных материалов в реальных деталях, особенно в деталях сложной формы (с концентраторами напряжений). Для улучшения качества выпускаемых деталей разрабатываются и внедряются новые методы обработки. Центробежная обработка (ЦО) является одним из упрочняющих динамических методов обработки ППД. Этот метод применяют для повышения усталостной прочности деталей машин, работающих в тяжёлых условиях эксплуатации.

К основным преимуществам ЦО, по сравнению с другими динамическими методами, относятся: высокая интенсивность обработки, простое по конструкции оборудование, возможность обработки длинномерных маложёстких изделий сложной формы, большая энергия воздействия на поверхность детали.

Типичным примером ЦО длинномерных маложёстких деталей является центробежная обработка труб лонжеронов вертолётов.

ЦО — это один из наиболее эффективных динамических методов обработки ППД. При правильно назначенных условиях и режимах упрочнения этот метод позволяет повысить усталостную прочность обрабатываемой детали в 1,5–4 раза. ЦО осуществляется нанесением на обрабатываемую поверхность последовательных ударов рабочими элементами (шариками или роликами), свободно сидящими в радиальных отверстиях вращающегося диска. Рабочие элементы под действием центробежных сил занимают крайнее положение в радиальных отверстиях, а при ударе об обрабатываемую поверхность опускаются на определённую глубину, отдавая энергию, создаваемую центробежной силой. Микрорельеф поверхности образуется наложением и пересечением единичных следов (лунок). Показано, что существующие модели процесса обработки не позволяют определить параметры шероховатости обработанной поверхности. Недостаточно полно проработаны вопросы формирования других физических параметров поверхностного слоя обработанных деталей и их влияния на эксплуатационные свойства машин. Не разработана аналитическая методика расчёта технологических параметров процесса ЦО.

Для разработки методики проектирования технологических процессов проведён комплекс ис-

следований процесса ЦО. Выполнено теоретическое моделирование процесса единичного взаимодействия шарика с поверхностью детали. На формирование единичного отпечатка при ЦО влияют следующие факторы: частота вращения и диаметр упрочнителя, радиус шарика, механические свойства материала детали, исходная шероховатость обрабатываемой поверхности.

На основании результатов теоретических исследований получены зависимости для расчёта размеров единичного отпечатка шарика (максимальная глубина внедрения шарика h_{\max} , a_0 и b_0 – полуоси пятна контакта):

$$h_{\max} = 2\omega_c R_c R k_i \sin \alpha \sqrt{\frac{k_c \rho_{\text{ш}}}{3k_s c \sigma_s}};$$

$$b_0 = \sqrt{R^2 - (R - h_{\max})^2};$$

$$a_0 = \frac{\pi}{2} (\text{ctg } \alpha - f) h_{\max} + b,$$

где k_i – коэффициент, учитывающий величину натяга; R – радиус шарика; R_c – радиус сепаратора; ω_c – частота вращения сепаратора; $\rho_{\text{ш}}$ – плотность материала шарика; k_s – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости детали; k_c – коэффициент, учитывающий влияние сепаратора; c – коэффициент несущей способности контактной поверхности; σ_s – предел текучести материала детали; h_{\max} – максимальная глубина внедрения шарика; α – угол встречи шарика с поверхностью детали; f – коэффициент трения шарика о поверхность детали.

Образование микрорельефа в процессе обработки деталей происходит многократным наложением и пересечением единичных следов. Параметры этого рельефа не зависят от исходного профиля, а определяются только технологическими режимами и конструктивными параметрами упрочнителя. Микрорельеф, получивший название установившейся шероховатости, воспроизводится на обрабатываемой детали определённое время, вплоть до появления перенаклёпа.

Функция распределения глубин внедрения шариков в обрабатываемую поверхность аппроксимируется степенной зависимостью

$$n_i = 0,5n_0 \left(\frac{l_i}{H_0} \right)^{k_r}, \text{ при } 0 \leq h_i \leq H_0,$$

где n_i – количество отпечатков на уровне l_i от отпечатка наибольшей глубины h_{\max} ; n_0 – номинальное количество взаимодействующих шариков над единицей поверхности детали; H_0 – разность глубин следов; k_r – показатель распределения глубины отпечатков.

Получена зависимость для расчёта среднего арифметического отклонения установившейся шероховатости поверхности при ЦО:

$$R_{a_{\text{уст}}} = 0,08 \sqrt{\frac{h_{\max} l_{\text{ед}} n_{\text{д}}}{n_c z_p}},$$

где n_c – частота вращения упрочнителя в минуту; z_p – число шариков в одном ряду упрочнителя; $l_{\text{ед}}$ – единичная длина; $n_{\text{д}}$ – частота вращения детали в минуту.

При теоретических исследованиях формирования параметров качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей получены зависимости для определения степени упрочнения R

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\left(\left(\frac{\pi}{2} (\text{ctg } \alpha - f) h_{\max} \right) + b \right) \sqrt{R^2 - (R - h_{\max})^2}}}{R}$$

и глубины наклёпанного слоя при ЦО

$$h_{\text{н}} = 3k_{\text{н}} \left[\left(\frac{\pi}{2} (\text{ctg } \alpha - f) h_{\max} + b \right) \times \sqrt{R^2 - (R - h_{\max})^2} \right]^{1/2},$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент, зависящий от степени наклёпа.

Зная величину продольной подачи и длину детали, можно определить время обработки

$$t = \frac{l_{\text{д}} k_{\text{рх}}}{S_0 n_{\text{д}}},$$

где $l_{\text{д}}$ – длина детали; S_0 – подача инструмента; $k_{\text{рх}}$ – число рабочих ходов.

При всех достоинствах ЦО с точки зрения качества изделия метод имеет недостаток – высокую акустическую активность при крайне неблагоприятном спектре шума, в котором наиболее интенсивные составляющие расположены в высокочастотной части спектра 1–8 кГц. Отрицательное воздействие шумов повышенного уровня на здоровье человека известно – частичная и полная потеря слуха, значительные функциональные изменения в организме. Кроме того, повышенный шум является причиной экономических потерь из-за снижения производительности труда, ухудшения качества продукции и увеличения несчастных случаев.

В связи с этим проблемы снижения виброакустических характеристик оборудования и доведения их в рабочих зонах операторов до нормативных значений являются актуальными. Решение этих задач позволит не только улучшить условия труда работающих, но и повысить качество функционирования и конкурентоспособности оборудования. Однако научных материалов по изучению процессов шумообразования при динамических методах ППД недостаточно, а для ЦО они практически отсутствуют.

Ниже приведены результаты теоретического исследования виброакустических характеристик при ЦО. Особенности компоновок оборудования и условий обработки деталей (в частности, очень низкие частоты вращения заготовок) существенно ограничивают круг задач теоретического исследования процесса шумообразования и сводит их к моделированию виброакустической системы «заготовка – упрочняющий инструмент». В качестве акустической модели заготовок как шарнирно-опорных балок принят линейный источник, а для инструмента – монополь. Для линейных источников зависимости звуковой мощности запишутся в виде

$$W_{\text{ист}} = 1,02 \frac{v^2 S a k^2}{l} \text{ (для шарнирно-опорных балок);}$$

$$W_{\text{ист}} = 0,06 \left(\frac{k^2 a S v}{l^2} \right)^2 \text{ (для монополя),}$$

где v – виброскорость источника; l – длина заготовки или оправки; S – площадь поверхности источника, $a = \sqrt{\frac{E}{m_0}}$; E – модуль упругости заготовки; I – момент инерции; m_0 – распределённая масса; k – коэффициент, характеризующий соответствующую собственную частоту колебаний.

Скорость колебаний заготовок на собственных модах находят из дифференциальных уравнений поперечных колебаний. Правая часть этих уравнений представляет собой разложение в ряд Фурье технологической нагрузки, которая имеет практически периодический характер. Кроме этого можно предположить, что при очень малых продольных скоростях упрочняющего инструмента технологическую нагрузку целесообразно представить как сосредоточенную в координате z_0 . Для таких условий получено дифференциальное условие поперечных колебаний изделия:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + a^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \frac{2}{M} \sum_{k=1}^{\infty} A \sin \frac{\pi k z_0}{l} + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} A_1 \sin \left(\frac{2\pi i}{T} t + \varphi \right) \sin \frac{\pi k z_0}{l};$$

$$a^2 = \frac{EI}{m_0};$$

$$A = \frac{P t_1}{T}; \quad A_1 = \frac{P \sin \frac{\pi t_1}{T}}{\pi};$$

$$j = \text{arctg} \left(\text{ctg} \frac{\pi i t_1}{T} \right) = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi t_1}{T},$$

где P – амплитуда силы воздействия; T – период чередования ударных возмущений; t_1 – время взаимодействия инструмента и заготовки; z_0 – координата приложения нагрузки.

Частное решение этого уравнения относительно скорости колебаний (согласно крайним условиям закрепления шарнирно-опорной заготовки) запишется в виде

$$v_k = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4\pi A_1}{TM} \sin \frac{\pi k z_0}{l} \frac{\cos \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi \right)}{a^2 \left(\frac{\pi k}{l} \right)^4 - \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2} \sin \frac{\pi k z}{l},$$

где M – полная масса; z – текущая координата приложения нагрузки; φ – фаза на соответствующей частоте колебаний.

Для расчёта звуковой мощности заготовки определяется максимальное значение скорости колебаний $v_{k\text{max}}$

Малая масса упрочняющего инструмента в сравнении с упрочняющей заготовкой позволяет рассмотреть инструмент как конечномерную модель.

В этом случае для виброскорости упрочняющего инструмента получено следующее выражение:

$$v_u = \frac{dy(t)}{dt} = \frac{A \sin p_0}{m p_0} \frac{t_1}{2} \left[2 \cos p_0 \left(t - \frac{t_1}{2} \right) - \frac{\sin p_0 \left(t + \frac{T - t_1}{2} \right)}{\sin p_0 \frac{T}{2}} \right],$$

где $p_0^2 = \frac{3EI_x}{l_c^3 m}$ – круговая собственная частота колебаний упрочнителя; l_c – вылет упрочнителя; m – масса упрочнителя.

Для расчёта звуковой мощности упрочнителя определяется максимальное значение скорости колебаний $v_{u\text{max}}$.

На основе этих зависимостей определяют уровень шума, создаваемые акустической подсистемой «заготовка – инструмент»:

$$L_W = 10 \lg(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2}),$$

где L_1 – уровень звуковой мощности, излучаемой заготовкой; L_2 – уровень звуковой мощности, излучаемой инструментом.

Полученные зависимости позволяют определить уровень шума на участках ЦО с учётом конструктивных параметров заготовок и инструмента, параметров технологического процесса. С помощью расчётов определяют величины превышения ожидаемых уровней шума в сравнении с предельно допустимыми значениями в соответствующих частотных интервалах, что позволяет выбрать рациональный вариант шумозащиты при проектировании процессов и оборудования.

Для проверки предложенных теоретических моделей проведены комплексные экспериментальные исследования процесса ЦО.

Эксперименты проводились в ОАО «Роствертол» на специальном токарном станке 163, оснащённом тремя каретками, на которых закреплены упрочнитель с шариками, привод упрочнителя и противовес. Для исследования параметров шероховатости поверхности образцов записывались профилограммы с последующей компьютерной обработкой. Замеры микротвёрдости по Виккерсу на упрочнённых образцах проводились с

помощью ПМТ-3. Шум и вибрации измеряли измерителем шума и вибраций ВШВ-003-М2.

Проведены комплексные исследования влияния технологических факторов, конструктивных параметров оборудования и свойств материала детали на шероховатость обработанной поверхности и физико-механические свойства поверхностного слоя обработанной детали (глубину наклёпанного слоя и степень упрочнения).

Результаты теоретических расчётов и экспериментальных исследований приведены на рис. 1–4. Расхождения не превышают 20 %.

Проведены экспериментальные исследования шума и вибрации на участке ЦО, подтверждающие правильность теоретической модели шумообразования в том, что формирование звукового поля практически полностью определяется акустическим излучением системы «заготовка – инструмент».

Действительно, уровни шума холостого хода существенно ниже допустимых на частотах выше 500 Гц. В высокочастотной области наблюдается спад интенсивности звукового излучения несущей системы оборудования (рис. 5).

Замеры вибраций подтвердили правильность выводов о закономерностях шумообразования при ЦО. Спектры вибрации заготовки характеризуются равномерным спадом интенсивности до частоты 1000 Гц, а на более высоких частотах (до 4000 Гц) наблюдается увеличение интенсивности процесса, т. е. спектры вибрации заготовки (так

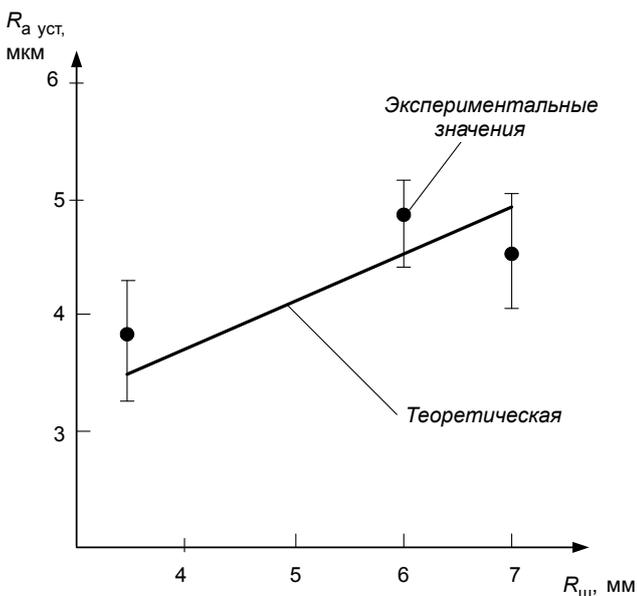


Рис. 1. Зависимость установившейся шероховатости поверхности от радиуса шариков в упрочнителе для стали 40ХН2МА ($D_c = 200$ мм, $z = 38$, $n = 2500$ мин⁻¹)

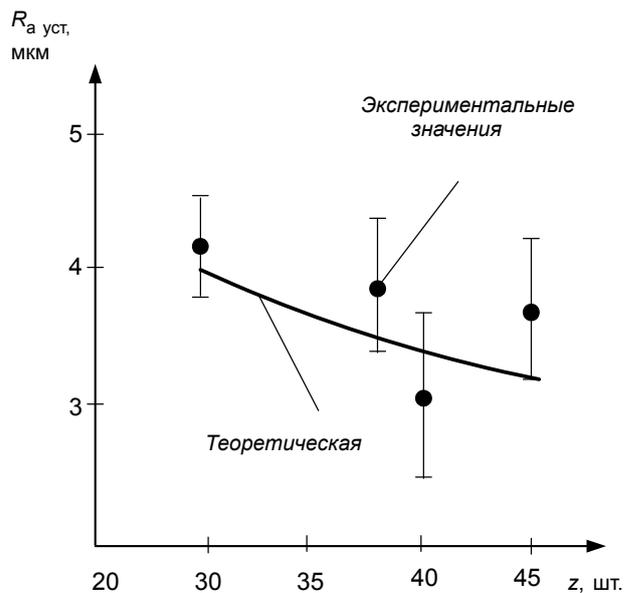


Рис. 2. Зависимость установившейся шероховатости поверхности от числа шариков в одном ряду упрочнителя для стали 40ХН2МА ($D_c = 200$ мм, $n = 2500$ мин⁻¹, $R_{ш} = 3,5$ мм)

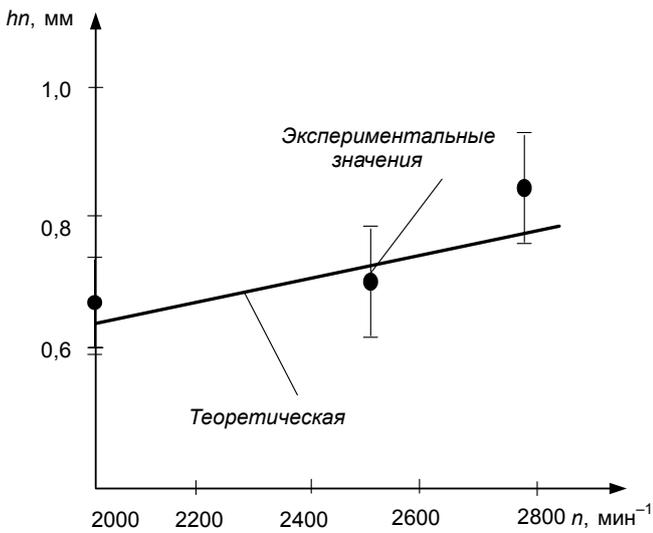


Рис. 3. Зависимость глубины упрочнённого слоя от частоты вращения упрочнителя для стали 40XН2МА ($D_c = 200$ мм, $R_{III} = 3,5$ мм)

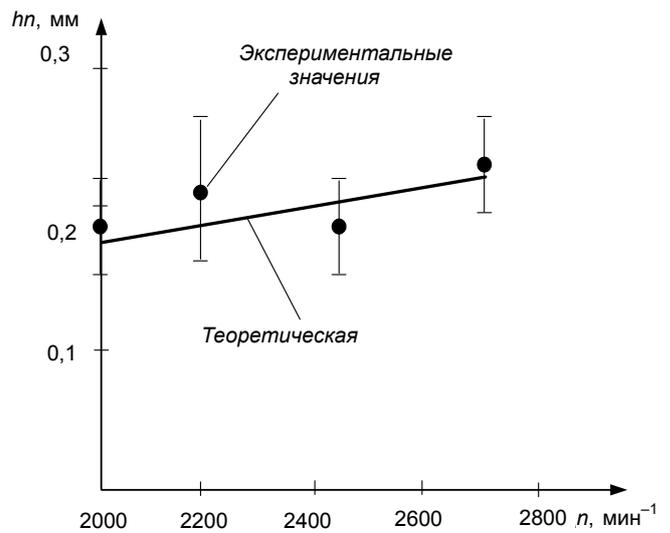


Рис. 4. Зависимость степени упрочнения от частоты вращения упрочнителя для стали 40XН2МА ($D_c = 200$ мм, $R_{III} = 3,5$ мм)

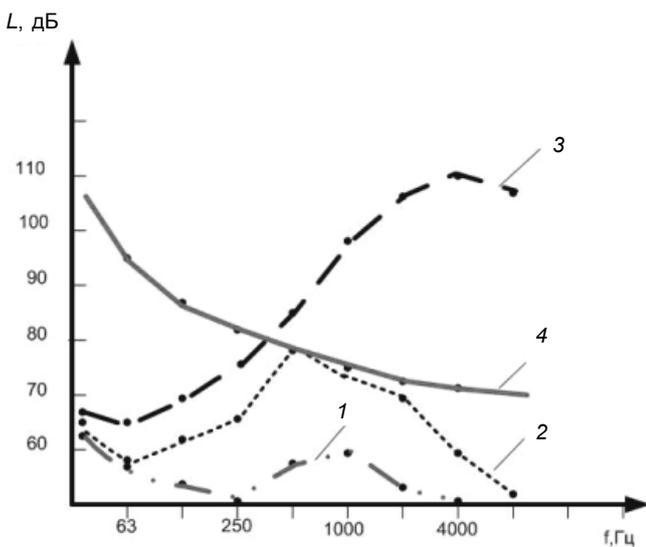


Рис. 5. Спектры шума в рабочей зоне:
1 – шум помех; 2 – холостого хода; 3 – рабочего процесса; 4 – норматив шума

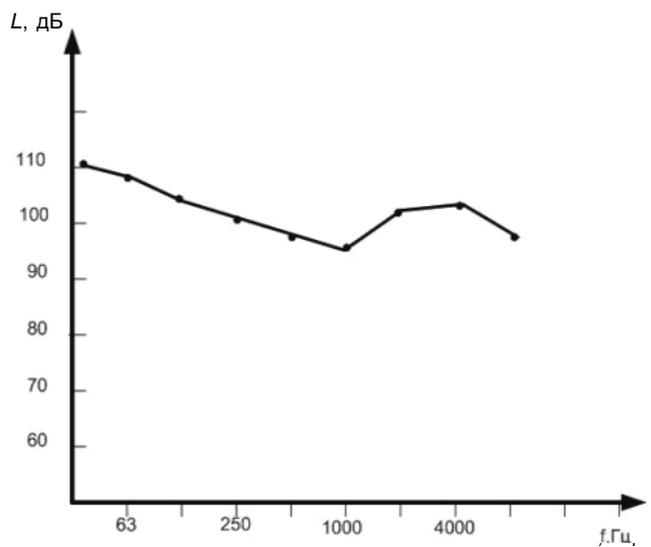


Рис. 6. Спектры вибрации на лонжероне

же как и спектры шума) имеют высокочастотный характер (рис. 6).

Спектры вибрации, измеренные в непосредственной близости от инструмента на кронштейне, носят ещё более высокочастотный характер с наиболее интенсивными уровнями в интервале частот 4000–8000 Гц (рис. 7, 8).

Спектры вибрации на люнетах имеют низкочастотный характер и в этом заключается их основное отличие от спектров вибрации заготовки.

Разница в уровнях вибрации люнета и заготовки находится в пределах 40 дБ на всем частотном диапазоне. Замеры вибрации на рабочем месте

(на полу возле установки центробежного наклёпа) показали, что уровни виброскорости очень низкие (не более 40 дБ), т. е. намного ниже санитарных норм и не оказывают вредного действия на работающих. Таким образом, формирование акустического воздействия при ЦО на рабочих местах полностью определяется воздушной составляющей шума системы «деталь – инструмент».

При одновременной работе двух установок уровни шума увеличиваются на 5 дБ (расчётное увеличение уровней шума составляет 3 дБ) при полной идентичности характера спектров шума.

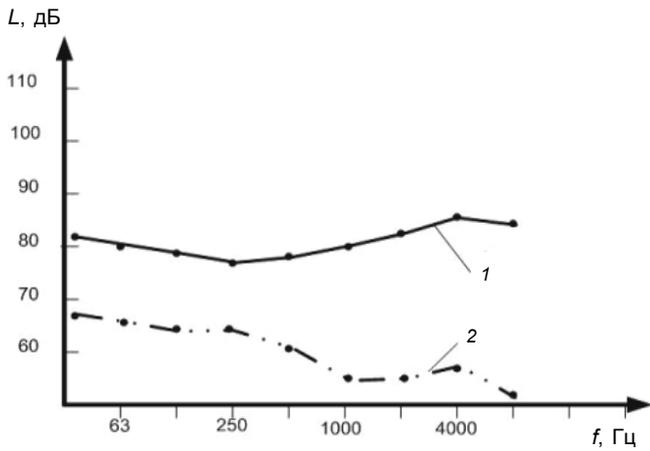


Рис. 7. Спектры вибрации:

1 – на кронштейне инструмента; 2 – на люнете

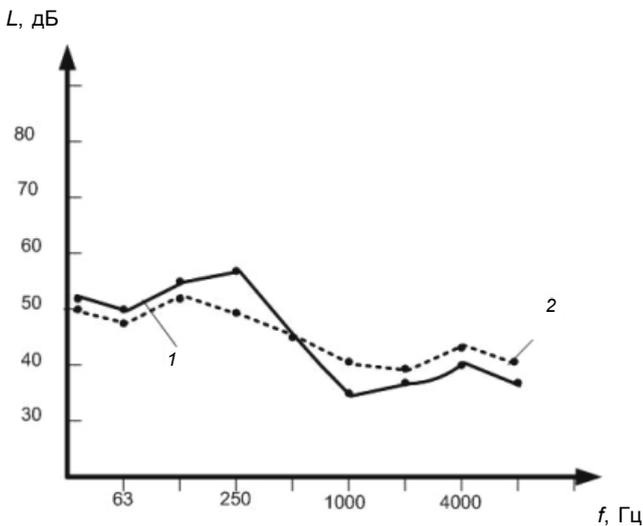


Рис. 8. Спектры вибрации:

1 – на столе суппорта; 2 – на станине

Уровни вибрации на рабочих местах не претерпели изменений. Изучаемое оборудование создаёт повышенные уровни шума не только внутри помещения, но и вне его. Превышение предельно допустимых значений наблюдается в диапазоне частот 2000–8000 Гц и достигает 20 дБ. Экспериментальные исследования подтвердили правильность теоретических выводов о закономерностях процесса шумообразования при ЦО.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны методы расчёта уровней шума установок ЦО в помещении (включая рабочие места) и рационального выбора звукоизолирующих и звукопоглощающих свойств ограждения установок и производственного помещения.

Результаты исследований позволили дать технологические рекомендации по выбору и расчёту конструктивных параметров оборудования и режимов обработки для ЦО. Приведены рекомендации по выбору типоразмера шарика, диаметра и количества рядов шариков сепаратора. Для мягких и средних по твёрдости материалов рекомендуется меньший диаметр шариков, для закалённых сталей – больший. После соответствующего выбора рассчитывается среднее арифметическое отклонение шероховатости поверхности, степень наклёпа и глубина наклёпанного слоя при варьируемых значениях окружной скорости упрочнителя и натяга обработки. По результатам расчётов корректируются выбранные режимы.

Проведен анализ эффективности мероприятий по снижению шума. Спроектировано звукозащитное ограждение, обладающее высокой степенью унификации для модернизированных токарных станков, на базе которых осуществляется упрочнение деталей ЦО. Ограждение – это каркасная конструкция из плоских пластин и цилиндрических оболочек, имеет длину 18 м, а по длине оно разбито на девять двухметровых секций. Форма сечения представляет собой прямоугольник, одна из сторон которого (лицевая) сферической формы. В результате предложенных рекомендаций уровни шума в рабочей зоне оператора доведены до санитарных норм. Результаты исследований по снижению шума внедрены в производство.

Таким образом, в результате проведенных исследований:

раскрыты основные закономерности формирования физико-механических свойств поверхностного слоя; получены теоретические зависимости, адекватность которых подтверждена экспериментально;

предложена теоретическая модель процесса формирования профиля шероховатости поверхности при ЦО, учитывающая конструктивно-технологические параметры обработки и свойства материала детали, а также получены зависимости для прогнозирования параметров шероховатости обработанной поверхности и характеристик упрочнения поверхностного слоя детали;

разработана методика расчёта и выбора технологических параметров центробежной обработки; предложена теоретическая модель виброакустической динамики «системы заготовка – инструмент» при ЦО длинномерных маложёстких заготовок, на основе которой разработана методика расчёта системы шумозащиты;

получены аналитические зависимости для оценки спектров шума, создаваемого при ЦО;

сформулированы рекомендации по снижению шума в рабочей зоне оператора до нормативных значений.

УДК 681.513

К.А. Неусыпин, д-р техн. наук, проф.

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОМАХА ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЦЕЛИ

Рассмотрены способы определения промаха при поражении цели ракетами различных классов, прогнозирование промаха ракеты при невозможности распознать цель из исходной точки пространства, в котором находится летательный аппарат, несущий ракеты. Прогноз осуществляется на основе анализа погрешностей инерциальной навигационной системы.

Ключевые слова: летательный аппарат, промах, прогноз.

Miss definition methods for direct hit with different classes rockets, rocket miss prediction methods, when impossibility to target recognize from initial spaces point, where carrying rockets flying apparatus is situated, are considered. Prediction is realized from an analysis of the inertial navigation system errors.

Key words: flying apparatus, miss, prediction.

Современные системы наведения предполагают использование разнообразного алгоритмического обеспечения, которое включает алгоритмы управления, оценивания, идентификации и прогнозирования. Процесс самонаведения ракеты на цель включает решение ряда задач, например, измерение и первичную обработку информации о движении цели и самой ракеты, вторичную обработку информации для определения ошибки наведения, формирование управляющих сигналов и отклонение органов управления ракеты. Оптимальное управление процессом наведения рассматривается как заданная закономерность управляющих сил ракеты в процессе её сближения с целью, направленное на уменьшение промаха. Рассматривается задача поражения цели с помощью ракеты, размещённой на летательном аппарате (ЛА), когда в исходной точке расположения ЛА невозможно распознать цель. Предполагается, что ЛА будет выведен в точку возможного пуска ракеты, из которой осуществляется поражение цели. В исходной точке пространства (в которой находится ЛА) необходимо вычислить возможный промах ракеты.

Определение промаха. При определении эффективности наведения ракеты на цель основным параметром является промах при поражении цели. Для того чтобы провести анализ такого параметра, рассмотрим аналитическое выражение для промаха.

Промах в конкретной реализации процесса самонаведения — это наименьшее расстояние r_{\min} в относительном движении ЛА — объект. Величина r изменяется в процессе самонаведения, зависит от кинематических уравнений и в некоторый

момент времени $t = t_k$ становится минимальной. Промах можно рассматривать как функцию кинематических параметров в конечный момент времени t_k , а соответствующую систему управления следует формировать как систему управления её конечным состоянием.

Прогнозируемый вектор промаха обычно называют текущим промахом.

Вектор промаха является функцией прогнозов конечного состояния координат цели и ракеты. Управление ракетой должно зависеть от этих прогнозов.

Рассмотрим движение ракеты и цели в одной плоскости.

На рис. 1 представлен процесс движения ракеты к точке встречи с целью (точка М) в момент времени t . Ракета находится в точке О, совпадающей с началом неподвижной системы координат Ox_0y_0 . Цель (точка Ц) движется в направлении к точке встречи. Параметры, характеризующие движение ракеты ($v, \dot{v}, \theta, \dot{\theta}$) и цели ($v_{\text{Ц}}, \dot{v}_{\text{Ц}}, \theta_{\text{Ц}}, \dot{\theta}_{\text{Ц}}$) в общем случае могут быть произвольными.

Рассмотрим понятие «мгновенный промах». Мгновенным промахом называется такое значение промаха, которое имело бы место, когда начиная с данного момента времени t полёт ракеты и цели (на оставшемся до встречи участке траектории) происходил равномерно и прямолинейно [1].

Рассмотрим относительное движение ракеты и цели. Вектор относительной скорости имеет вид $\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v} - \vec{v}_{\text{Ц}}$.

Движение ракеты определяется вектором $\vec{v}_{\text{отн}}$. Промах h в точке А будет минимальным. Так как начиная с момента времени t величины $\dot{v}, \dot{\theta}, \dot{v}_{\text{Ц}}, \dot{\theta}_{\text{Ц}} = 0$, а $v, \theta, v_{\text{Ц}}, \theta_{\text{Ц}} = \text{const}$, то траектория

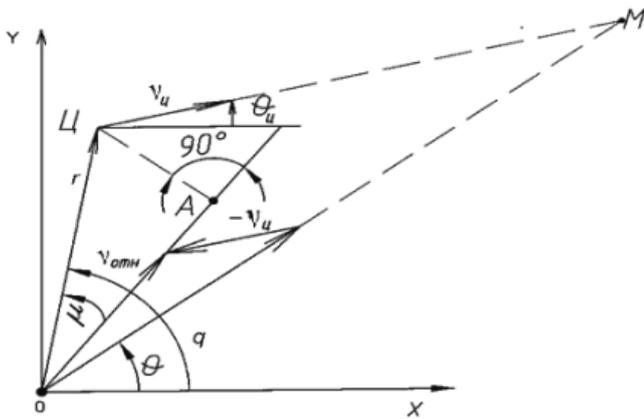


Рис. 1. Определение мгновенного промаха

ракеты относительно цели представляет собой прямую (линия OA). Следовательно, промах определяется отрезком CA, который имеет минимальную длину:

$$h = r \sin \mu. \tag{1}$$

Если выразить величину угла μ через \dot{q} , то получим

$$\sin \mu = \frac{r\dot{q}}{v_{отн}} \text{ и } h = \frac{r^2\dot{q}}{v_{отн}}. \tag{2}$$

Относительная скорость сближения ракеты и цели определяется по формуле

$$v_{отн} = \sqrt{v^2 + v_c^2 - 2vv_c \cos(\theta - \theta_c)}. \tag{3}$$

При малом значении угла μ мгновенный промах можно рассчитывать по формулам (1) и (2)

$$h = -\frac{r^2\dot{q}}{\dot{r}} = \frac{r^2}{|\dot{r}|}\dot{q}. \tag{4}$$

Следует отметить, что при уменьшении расстояния между ракетой и целью угол μ увеличивается и воспользоваться формулой (4) не представляется возможным.

Значение промаха ракеты в точке встречи с целью, определяемое по уравнению (4), показывает, что промах h является величиной, прямо пропорциональной угловой скорости линии визирования $\dot{q}(t)$, а точность определения промаха ракеты зависит от точности определения параметров \dot{q} , r и \dot{r} . Измерительная система ракеты должна определить эти параметры. В наиболее распространенной системе самонаведения с помощью

радиолокатора можно определить дальность до цели и скорость сближения. Эффективность действия системы самонаведения в большой степени зависит от точности измерения значения этих параметров в условиях воздействия внутренних шумов, а также активных и пассивных помех.

В практических приложениях ограничения на условия движения ракеты и цели на оставшемся участке до точки встречи не накладываются. Рассматривается наиболее общий случай движения ракеты и цели, который предполагает движение с различными манёврами и изменяющейся скоростью. В этом случае величина фактического промаха отлична от величины мгновенного промаха, который вычисляется по формулам (2) и (4). Отличие будет тем существеннее, чем больше расстояние до цели, на котором было прекращено управление, а также чем интенсивнее цель маневрирует.

Более точную приближённую оценку промаха возможно получить предполагая, что с момента выключения управления движение ракеты и цели происходит с постоянными осевой и нормальной перегрузками. Промах ракеты, рассчитанный при таких допущениях, обычно называется фактическим промахом.

Обоснование принятых ограничений на осуществление манёвров ракеты и цели представлено в работе [1]. Доказано, что при дальностях выключения управления, соответствующих дальностям «ослепления» головки самонаведения, допущение о постоянстве манёвра ракеты и цели на оставшемся до встречи участке траектории является обоснованным и не приводит к серьёзным ошибкам.

При принятых ограничениях и условии, что дальность до встречи с целью и кривизна траектории не очень велики, оставшееся до встречи ракеты с целью время полета Δt запишется в виде

$$\Delta t = -\frac{r}{\dot{r}}.$$

Уравнение (4) можно записать в виде

$$h = -\Delta t^2 \dot{r} \dot{q}. \tag{5}$$

Определим скорость изменения мгновенного промаха, полагая, что скорость сближения ракеты с целью \dot{r} на оставшемся до встречи участке траектории является величиной постоянной. Продифференцировав по времени уравнение (5), получим

$$\dot{h} = \frac{r}{|\dot{r}|} (r\ddot{q} + 2\dot{r}\dot{q}). \tag{6}$$

Выражение для вычисления промаха с учётом переменной скорости и постоянного манёвра ракеты и цели на оставшемся до встречи участке траектории имеет вид [1, 3]

$$h_{\phi} = -\frac{r_2}{\dot{r}} \left[\dot{q} - \frac{1}{2\dot{r}} (-gn_{\phi} + gn_{\phi}^* \cos q + \dot{v}_{\text{ц}} \sin q_{\text{ц}} + g \cos q) \right]. \quad (7)$$

Формула (7) при принятых выше допущениях может быть использована для вычисления фактического промаха ракеты относительно цели.

Предсказание ошибки при поражении цели. Рассматривается задача предсказания ошибки при поражении цели в случае отсутствия возможности распознать её из исходной точки пространства.

Данная задача разбивается на два этапа.

Сначала предскажем ошибку при выведении ЛА в заданную точку (точку вывода), из которой возможно распознать цель. Координаты точки вывода, как правило, известны. Затем определим ошибку при поражении цели из этой точки пространства.

Ошибку местоположения при предполагаемом перемещении ЛА из исходной точки в точку вывода определим расчётом погрешностей инерциальной навигационной системы, установленной на борту ЛА.

В практических приложениях при наличии внешнего источника информации часто используется инерциальная навигационная система, демпфированная с изменением собственной частоты колебаний. Возмущающими факторами, влияющими на ошибки системы, являются: дрейфы гироскопов, смещение нуля и дрейфы акселерометров, погрешности интеграторов, неточность выставки гиролатформы, ошибки внешнего источника информации и др.

Определяющими в гамме возмущающих факторов являются дрейфы гироскопов и начальное отклонение гиролатформы в азимуте [2]:

$$\begin{aligned} \delta x(t) = & \frac{gE_y^*}{(k_2+1)\omega^2} \left[\frac{(k_2+1)\omega^2 t - k_1}{(k_2+1)\omega^2} \right] + \\ & + \frac{gk_2 v_{\xi} E_z^*}{2R(k_2+1)^4 \omega^6} \times \left[(k_2+1)^2 \omega^4 t^2 - \right. \\ & \left. - 2(k_2+1)\omega^2 - 2k_1(k_2+1)\omega^2 t - 2k_1^2 \right] - \\ & - \frac{(\dot{v}_{\xi} + k_1 v_{\eta}) \Phi_z(0)}{(k_2+1)\omega^2} + \frac{gk_2 v_{\xi} \Phi_z(0)}{R(k_2+1)^2 \omega^4} \times \end{aligned}$$

$$\times \left[(k_2+1)\omega^2 t - k_1 \right]. \quad (8)$$

Здесь E_y^* , E_z^* – дрейфы гироскопов, которые предполагаются постоянными; $\Phi_z(0)$ – отклонение гиролатформы в азимуте; k_1, k_2 – коэффициенты в контуре демпфирования; ω – частота Шулера; g – гравитационное ускорение; R – радиус Земли.

Так как направление дрейфа гироскопов неизвестно, в дальнейшем для предсказания ошибок местоположения необходимо использовать дисперсию ошибки инерциальной навигационной системы.

Используя эту информацию, можно предсказать ошибку местоположения ЛА в точке вывода. Местоположение ЛА в текущий момент времени определяется непосредственно инерциальной навигационной системой φ_0, λ_0 , а проекции скорости ЛА на оси сопровождающего трёхгранника выбранной системы координат v_{ξ}, v_{η} и координаты точки вывода ЛА φ_3, λ_3 , также известны.

Следовательно, время функционирования инерциальной навигационной системы в полёте из исходной точки в точку вывода можно определить по формулам

$$t = \frac{\varphi_3 - \varphi_0}{v_{\xi}} \quad \text{или} \quad t = \frac{\lambda_3 - \lambda_0}{v_{\eta}}. \quad (9)$$

Воспользовавшись представленными выражениями, определяем значение ошибки инерциальной навигационной системы при перемещении ЛА в точку вывода.

Второй этап заключается в расчёте вероятной ошибки поражения цели из заданной точки вывода.

Расстояние D (рис. 2) от исходной точки до цели O определяется дальномером, с точностью до ошибок дальномера (дисперсия ошибок дальномера известна). Из рис. 2 видно, что если известны две стороны треугольника и угол между ними, то можно определить все остальные элементы. В данном случае интересующую третью сторону, т. е. расстояние от точки вывода до цели

$$S = \sqrt{D^2 - 2DL \cos \alpha + L^2}. \quad (10)$$

При известных дальности S от точки вывода до цели и зависимости ошибки дальномера от расстояния до цели можно предсказать ошибку распознавания цели из заданной точки вывода ЛА.

При необходимости не только распознать цель, но и поразить её с помощью ЛА, можно восполь-

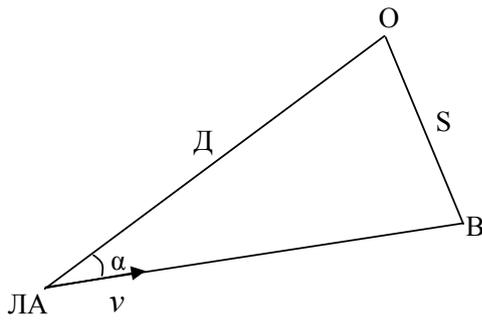


Рис. 2. Определение ошибки распознавания цели:

В – точка вывода ЛА, из которой возможно распознать цель; О – объект распознавания; Д – дальность до объекта распознавания; L, S – расчётные дальности; v – вектор скорости ЛА

зовавшись формулой (8), а время полёта рассчитать по формуле

$$\frac{S}{v} = t_{\text{поражения}}. \tag{11}$$

Таким образом, предсказание ошибки поражения цели включает предсказание ошибок инерциальной навигационной системы при выведении ЛА в заданную точку вывода и предсказание ошибок навигационной системы при поражении цели из точки вывода.

Обычно подобные задачи решаются методами телеуправления. При этом необходимо функционирование наземного источника информации. Однако сигналы телеуправления могут быть подвержены активным помехам, поэтому целесообразно использовать комбинированные методы управления ЛА. Телеуправление применяется для передачи на ЛА информации о координатах точки вывода, а затем ЛА продолжает функционировать в автономном режиме, для чего на ЛА устанавливается инерциальная система и дальномер.

Одним из доминирующих возмущающих факторов, обуславливающих ошибки автономной инерциальной навигационной системы, является дрейф гироскопов, который носит случайный характер. Ошибка инерциальной навигационной системы в определении пройденного пути, вызванная дрейфом гироскопов, имеет вид

$$\delta x(s) = \frac{R\omega^2 E(s)}{s(s^2 + \omega^2)}, \tag{12}$$

где $E(t) = E^* + \tilde{E}(t)$; E^* – среднее по времени значение случайного процесса; $\tilde{E}(t)$ – стационарный случайный процесс; s – оператор Лапласа; R – радиус Земли.

Запишем ошибку навигационной системы, обусловленную случайным дрейфом гироскопа:

$$\delta x(t) = \int_0^t (E^* + \tilde{E}(\tau))k(t-\tau)d\tau, \tag{13}$$

где $k(t-\tau)$ – импульсная переходная функция.

Среднее значение ошибки после усреднения по совокупности реализаций имеет вид

$$\delta x^*(t) = \int_0^t E^*k(t-\tau)d\tau. \tag{14}$$

Вычитая среднее значение ошибки $\delta x^*(t)$ из ошибки $\delta x(t)$, получим случайную составляющую ошибки автономной навигационной системы:

$$\delta \tilde{x}(t) = \int_0^t \tilde{E}(\tau)k(t-\tau)d\tau. \tag{15}$$

Статистические характеристики ошибок инерциальной навигационной системы определяются записью последнего выражения для различных моментов времени и применения к результату операции математического ожидания. Корреляционная функция ошибки запишется в виде

$$M[\Delta \tilde{x}(t_1)\Delta \tilde{x}(t_2)] = \int_0^{t_1} k(t_1-\tau)d\tau \int_0^{t_2} k(t_2-\theta)d\theta - M[\tilde{E}(\tau)\tilde{E}(\theta)]d\theta, \tag{16}$$

а корреляционная функция дрейфа гироскопов

$$R(\tau-\theta) = M[\tilde{E}(\tau)\tilde{E}(\theta)]. \tag{17}$$

Корреляционная функция погрешности инерциальной навигационной системы имеет вид

$$R_x(t_1, t_2) = M[\Delta \tilde{x}(t_1)\Delta \tilde{x}(t_2)] = \int_0^{t_1} k(t_1-\tau)d\tau \int_0^{t_2} R(\tau-\theta)k(t_2-\theta)d\theta. \tag{18}$$

Дисперсия погрешности определяется выражением

$$D_x = R_x(t_1, t) = \int_0^t k(t-\tau)d\tau \int_0^t R(\tau-\theta)k(t-\theta)d\theta. \tag{19}$$

В практических приложениях случайная составляющая дрейфа, как правило, аппроксимируется белым шумом с корреляционной функцией:

$$R(\tau) = Q^2 \delta(\tau), \quad (20)$$

где Q – интенсивность или спектральная плотность.

В этом случае корреляционная функция записывается в виде

$$R_x(t_1, t_2) = \int_0^{t_1} Q^2 k^2(t - \tau) d\tau. \quad (21)$$

Дисперсия ошибки навигационной системы в определении пройденного пути имеет вид

$$D_x = R_x(t_1, t) = \int_0^t Q^2 k^2(t - \tau) d\tau. \quad (22)$$

Определим импульсную передаточную функцию

$$\begin{aligned} k(t) &= \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} \frac{R\omega^2}{s(s^2 + \omega^2)} e^{st} ds = \\ &= R(1 - \cos \omega t), \end{aligned} \quad (23)$$

тогда ошибка навигационной системы запишется в виде

$$\delta x^*(t) = E^* R \left(t - \frac{1}{\omega} \sin \omega t \right). \quad (24)$$

Дисперсию ошибки навигационной системы можно записать в виде

$$D_x = Q^2 R^2 \left[\frac{3}{2} t - \frac{2}{\omega} \sin \omega t + \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega t \right]. \quad (25)$$

Для расчёта по этим зависимостям ошибки при распознавании цели и промаха необходимо задаться значениями $E^* = 10^{-5}$ рад/мин, а уровень спектральной плотности принимается

$$Q^2 = 2A^2\beta,$$

где A – среднеквадратичное отклонение случайного дрейфа [2].

Таким образом, определяя возможный промах ракеты можно принять решение о целесообразности выведения ЛА в выбранную точку пуска ракеты и осуществления поражения цели.

Библиографические ссылки

1. Кринецкий Е.И. Системы самонаведения. М.: Машиностроение, 1970. 125 с.
2. Неусыпин А.К., Неусыпин К.А. Алгоритмическое обеспечение систем навигации и наведения. М.: Изд. «Сигнал МПУ», 1999. 220 с.
3. Неусыпин К.А. Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. М.: Изд. МГОУ, 2009. 500 с.



КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТРАКТОРОВ:

учебник для студентов вузов.

В.М. Шарипов

Цена 693 р.

2009. – 752 с. ISBN: 978-5-94275-437-2

Рассмотрены основные принципы конструирования и расчета тракторов. Приведены методики расчета сборочных единиц и деталей, характеристики используемых материалов.

2-е издание (1-е изд. 2004 г.) переработано и дополнено разделами по гидродинамическим передачам, гусеничному движителю и гидрообъемному рулевому управлению.

Для студентов высших учебных заведений, изучающих конструирование и расчет тракторов и автомобилей, а также для инженерно-технических работников, занимающихся разработкой новых и совершенствованием существующих моделей тракторов.

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

УДК 654.94

С.И. Корчагин, А.В. Леус, А.В. Филимонов (Московский физико-технический институт)

leus@frtk.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ДЛЯ РАСЧЁТА МИНИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПРОНИКНОВЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ

Рассматривается реализация алгоритма расчёта минимального времени для проникновения нарушителя на особо важный объект.

Ключевые слова: проблемы обеспечения безопасности, модели движения нарушителя, минимальное время проникновения.

Algorithm realization for calculation of the violator penetration minimum time in the especially important object is considered.

Key words: safety ensuring problems, violator movement models, penetration minimum time.

Современное состояние проблемы обеспечения безопасности особо важных объектов определяется множеством факторов [1], в том числе и применением технических систем обеспечения охраны. Наиболее существенными из них являются применение интегрированных комплексов систем физической защиты (СФЗ), созданных на основе новых научно-технических разработок. Для оценки эффективности данных комплексов проводятся научно-исследовательские работы, направленные на улучшение или модернизацию СФЗ за счёт оптимизации структуры или состава оборудования комплексов [2].

В ряде научных исследований, проводимых в ЗАО «Компания безопасность», большое внимание уделено созданию моделей движения нарушителя и различных алгоритмов расчёта параметров движения нарушителей, появившихся в районе нахождения защищаемых объектов контролируемой зоны.

Рассмотрим реализацию алгоритма расчёта времени проникновения нарушителя на особо важный объект. Чтобы определить, выполняет ли система физической защиты свою функцию, необходимо оценить время прибытия к объекту защиты нарушителя или группы реагирования для последующего расчёта минимального времени движения нарушителя до объекта защиты.

Для расчёта определим математическую модель [1]. На план исследуемого объекта наносится поле, состоящее из $N_x \times N_y$ клеток, каждая из которых определяется вектором параметров:

$$\vec{A} = \left\| x; y; x_{prev}; y_{prev}; KT_x^y; \tau_x^y; m_x^y \right\|, \quad (1)$$

где x и y – координаты точки по оси ox и oy ; x_{prev} и y_{prev} – координаты точки, из которой переместился в данную клетку нарушитель; KT – дискретное время преодоления клетки \vec{A} ; τ – минимальное дискретное время, через которое после начала расчёта

нарушитель может попасть в точку \vec{A} ; m – маркер, показывающий, что вероятный нарушитель прошёл ($m=0$), или не прошёл ($m=1$) данную клетку.

Стартовая клетка определяется вектором параметров:

$$\vec{A} = \left\| x_0; y_0; KT_{x_0}^{y_0}; \tau_{x_0}^{y_0}; m_{x_0}^{y_0} \right\|.$$

Так как стартовая клетка – точка начала движения нарушителя, то на первом дискрете времени необходимо указать, что нарушитель прошёл данную клетку: $m_{x_0}^{y_0} = 0$. Данный маркер показывает, что в пройденную нарушителем клетку нельзя попасть второй раз, так как новое время прибытия нарушителя всегда будет больше предыдущего, а в рамках данной задачи мы ищем минимальное время. Таким образом, по приведённому алгоритму нельзя вернуться в исходную точку.

После того как нарушитель начал двигаться, не ясно в каком направлении ему необходимо пойти, так как самый короткий путь может лежать в совершенно любом направлении. Поэтому нарушитель начинает двигаться сразу по всем возможным направлениям, т. е. в точки с координатами:

$$\begin{pmatrix} (x_0 - 1; y_0 - 1) & (x_0; y_0 - 1) & (x_0 + 1; y_0 - 1) \\ (x_0 - 1; y_0) & (x_0; y_0) & (x_0 + 1; y_0) \\ (x_0 - 1; y_0 + 1) & (x_0; y_0 + 1) & (x_0 + 1; y_0 + 1) \end{pmatrix}.$$

При этом необходимо проверять существование каждой точки из восьми возможных:

$$\left. \begin{matrix} (1 \leq x - 1 \leq N) \\ (1 \leq y - 1 \leq N) \\ \dots \\ (1 \leq x + 1 \leq N) \\ (1 \leq y + 1 \leq N) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \exists (x - 1, y - 1),$$

$$\left. \begin{matrix} (1 \leq x + 1 \leq N) \\ (1 \leq y + 1 \leq N) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \exists (x + 1, y + 1).$$

Итак, получаем массив точек, в которые может попасть нарушитель из стартовой точки. Значение маркера m_x^y во всех точках равно единице, поэтому, если точка существует, нарушитель может туда попасть. Остаётся только проверить, что время $(\tau_{x_0}^{y_0} + 1)$, за которое нарушитель может попасть в данную клетку поля, меньше времени τ_x^y , записанного там по умолчанию.

Если данное условие $(\tau_{x_0}^{y_0} + 1 < \tau_x^y)$ не выполняется, то это означает, что данная клетка более не интересна для рассмотрения, так как путь через неё превышает по времени путь, полученный из кратчайшего расстояния до объекта защиты. Если же полученное время $(\tau_{x_0}^{y_0} + 1)$ оказалось меньше τ_x^y , то нарушитель может попасть в данную клетку, а время, за которое он может туда попасть определяется как $(\tau_{x_0}^{y_0} + 1)$.

Так как нарушитель перешёл в соседние клетки, необходимо пометить все эти клетки маркером нарушителя $m_x^y := 0$. После перехода в одну из соседних клеток необходимо уменьшить время преодоления данной клетки KT_x^y на величину, равную дискрету времени Δt :

$$KT_x^y := KT_x^y - 1. \tag{2}$$

Если после уменьшения времени преодоления данной клетки KT_x^y на единицу окажется, что оно стало равно нулю, можно говорить о том, что данная клетка преодолена нарушителем и следующим ходом он снова сможет пройти в ряд соседних клеток.

Клетки, в которых произошло обнуление времени преодоления, заносятся в массив «Fast». Все остальные клетки, в которых не произошло обнуления

времени преодоления, заносятся в массив «Slow». В данных клетках нарушитель будет находиться до тех пор, пока время преодоления KT_x^y не обнулится. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 1.

Массив «Fast» формируется из клеток, из которых на следующем шаге необходимо уходить в соседние клетки, и состоит из векторов типа (1).

Для всех значений i необходимо произвести анализ, аналогичный анализу, проведённому для стартовой клетки. После перехода в одну из соседних клеток необходимо уменьшить время преодоления данной клетки на величину, равную дискрету времени Δt (2).

Если после уменьшения времени преодоления данной клетки на единицу окажется, что оно стало равно нулю, можно говорить о том, что данная клетка преодолена нарушителем и следующим ходом он снова сможет пройти в ряд соседних клеток. Клетки, в которых произошло обнуление времени преодоления, заносятся в массив «Fast». Блок-схема алгоритма обработки i -го элемента массива «Fast» приведена на рис. 2. Проверку маркера m_x^y осуществлять не нужно, так как нарушитель на данной итерации не может перейти в следующую клетку поля.

Массив «Slow» также состоит из векторов типа (1). В данной клетке необходимо уменьшить время её преодоления на величину, равную дискрету времени Δt (2).

Если после уменьшения времени преодоления данной клетки на единицу окажется, что оно стало равно нулю, можно говорить о том, что данная клетка преодолена нарушителем и следующим ходом он снова сможет пройти в ряд соседних клеток.

Клетки, в которых произошло обнуление времени преодоления, заносятся в массив «Fast». Все

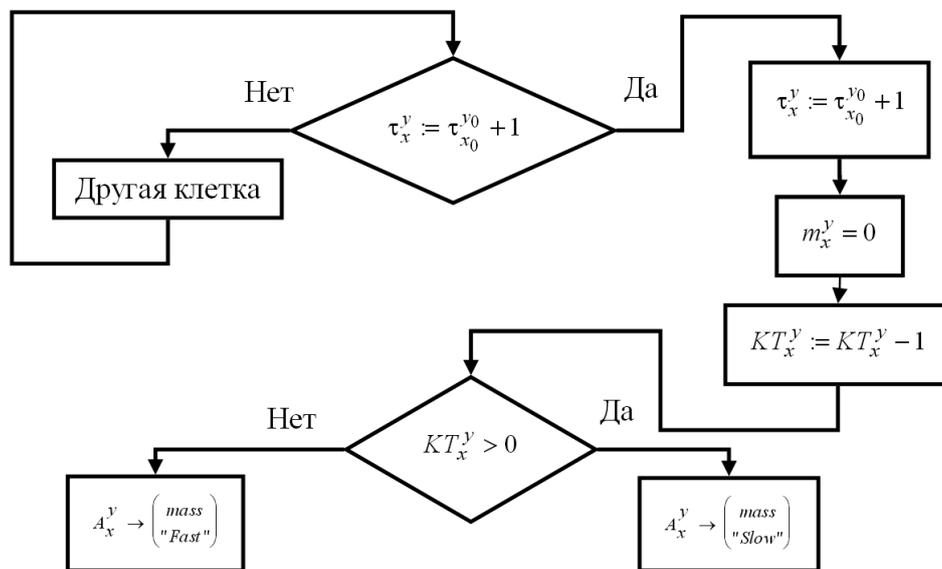


Рис. 1. Алгоритм проведения расчёта на первом шаге

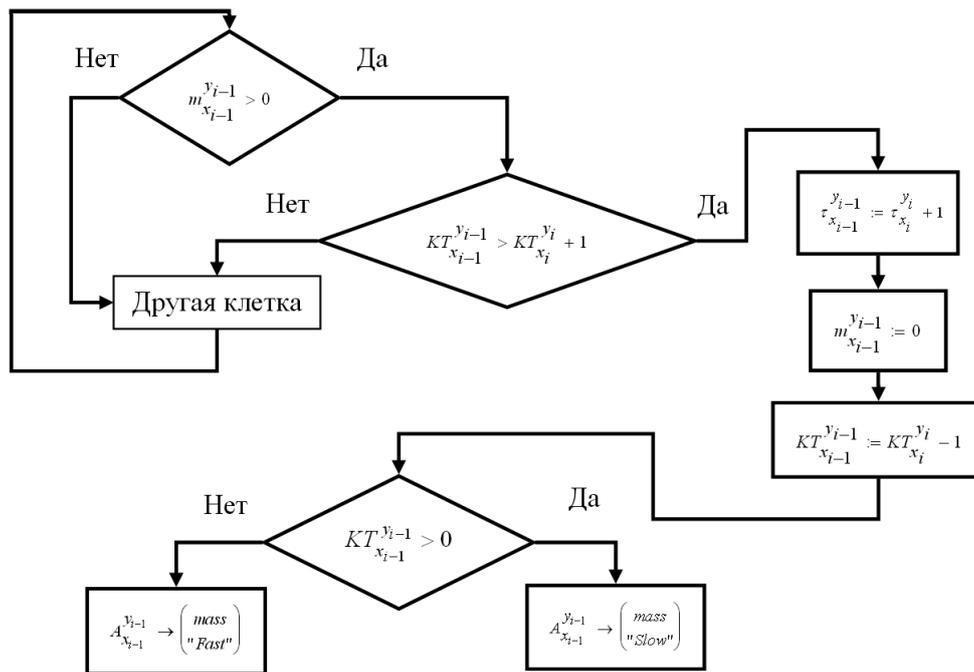


Рис. 2. Обработка *i*-го элемента массива «Fast»

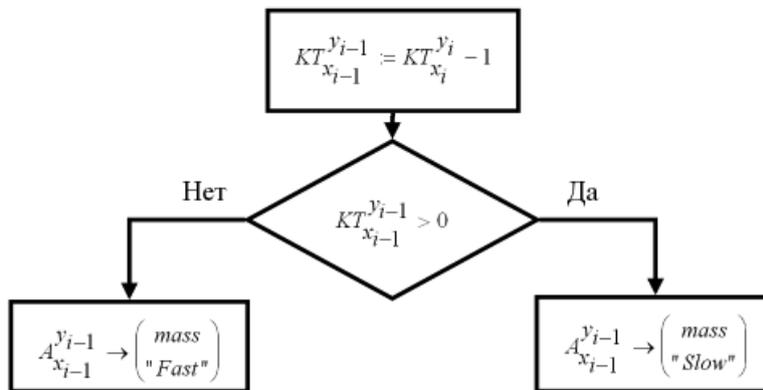


Рис. 3. Обработка *i*-го элемента массива «Slow»

остальные клетки, в которых не произошло обнуления времени преодоления, остаются в массиве «Slow». В данных клетках нарушитель будет находиться до тех пор, пока время преодоления не обнулится. Блок-схема алгоритма обработки *i*-го элемента массива «Slow» приведена на рис. 3.

Поиск завершится в тот момент, когда нарушитель по самому быстрому пути перейдет в клетку с вектором параметров A_{03} , в которой расположен объект защиты. Используя параметры клеток x_{prev} и y_{prev} можно восстановить весь путь движения нарушителя.

Таким образом, рассмотренный алгоритм расчёта минимального времени проникновения нарушителя позволяет утверждать, что СФЗ выполняет свою функцию, оценивая, кто раньше прибудет к объекту защиты – нарушитель или группа реагирования.

Сумма времен преодоления каждой клетки на полученном пути даст минимальное время проникновения нарушителя.

Однако следует отметить, что расчёт оказывается существенно заниженным и требуются дополнительные исследования, так как время преодоления клетки в диагональном направлении оказывается равным времени преодоления её в горизонтальном или вертикальном направлениях.

Библиографические ссылки

1. Мушник Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. М.: Мир, 1990. 204 с.
2. Башуров В.В. Применение методов геометрической оптики к решению задачи безопасности объекта // Вычислительные технологии. 2006. Т. 11. № 4. С. 23–28.

УДК 621.317.681.2

Г.Н. Ахобадзе, д-р техн. наук
(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН)

ahogur@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ И ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Рассмотрены вопросы измерения физических параметров технологических процессов на основе рассеяния и дифракции электромагнитных волн.

Ключевые слова: рассеяние, дифракция, волна, интенсивность, индикатриса, частица, концентрация, рупорная антенна.

Questions of the physical parameters measuring for technological processes from a electromagnetic waves dispersion and diffraction are considered.

Key words: ispersion, diffraction, wave, intensity, indicatrix, particle, concentration, megaphone antenna.

В настоящее время много работ посвящено измерению физических параметров на основе волновых методов, использующих различные эффекты взаимодействия электромагнитных волн с контролируемой средой.

Появление новых задач в измерительной технике, а также ужесточение требований к метрологическим характеристикам измерительных устройств для повышения их конкурентоспособности обуславливают поиск новых методов, использующих другие физические явления для решения задач измерения.

Ниже рассматриваются вопросы, связанные с использованием рассеяния и дифракции электромагнитных волн для измерения некоторых физических параметров технологических процессов.

Рассеяние волн – это изменение какой-либо характеристики потока (интенсивности, частотного спектра и поляризации волны) излучения при его взаимодействии с веществом.

Если при взаимодействии излучения с веществом частота падающего излучения ω равна частоте рассеянного излучения ω' , то такое рассеяние называется рэлеевским или упругим. Количественной характеристикой рассеяния является дифференциальное сечение рассеяния $d\sigma$, определяемое как отношение потока излучения dJ , рассеянного в малый элемент телесного угла $d\Omega$, к величине J_0 падающего потока: $d\sigma = dJ/J_0$. Полное сечение рассеяния σ есть сумма $d\sigma$ по всем направлениям, т.е. по всем $d\Omega$ (сечение имеет размерность см^2). Характеристикой рэлеевского рассеяния служит индикатриса рассеяния – кривая, отображающая зависимость интенсивности рассеяния волны от угла рассеяния.

Из теории рассеяния известно, что рэлеевское рассеяние мелкими частицами (радиус частицы r много меньше длины волны) можно описать явлением дифракции света на диэлектрических

частицах. Сечение (и интенсивность) рассеяния в этом случае зависит от r и разности диэлектрической проницаемости ϵ и ϵ_0 рассеивающего вещества и окружающей среды: $\sigma \sim \lambda^{-4} r^6 (\epsilon - \epsilon_0)^2$. С увеличением радиуса частиц r до $r \sim \lambda$ и более (при условии $\epsilon > 1$) в индикатрисе рассеяния появляются резкие максимумы и минимумы. Вблизи так называемых резонансов Ми (немецкий физик) ($2r = m\lambda$, $m = 1, 2, 3, \dots$) сечения сильно возрастают и становятся равными $6\pi r^2$, рассеяние вперёд усиливается, назад – ослабевает.

Явление рэлеевского рассеяния мелкими частицами может быть использовано для определения концентрации пылегазового материала (угольная пыль, цемент, известь), транспортируемого по трубопроводу. Необходимость определения концентрации вещества связана с измерением массового расхода двухкомпонентных потоков в трубопроводах.

Известно, что диаметр диэлектрических частиц угольной пыли, цемента и других пылегазовых материалов, имеющих чаще всего сферическую форму, может колебаться от 20 до 400 мкм, т.е. рассеяние такими частицами может быть описано законом Рэля ($d_{\text{ч}} \ll \lambda_3$, где $d_{\text{ч}}$ – диаметр частицы; λ_3 – длина зондирующей волны).

В рассматриваемом случае с учётом специфики перемещения по трубопроводу пылегазовых материалов и технологии зондирования частицы электромагнитной волной для сечения рассеяния можно принять

$$\sigma_p = \frac{128 \pi^2 R_p^6}{3 \lambda_3^4} \left| \frac{\epsilon_p - 1}{\epsilon_p + 2} \right|^2,$$

где R_p – радиус частицы; σ_p – сечение рассеяния частицы; ϵ_p – относительная диэлектрическая проницаемость материала, из которого образована частица.

Предположим, что частица зондируется электромагнитной волной. Тогда для напряжённости электрического поля, рассеянной от частицы волны E_p , можно записать выражение

$$E_p^2 = \frac{128 \pi^2 R_p^r E_3^2}{3 l^2 \lambda_3^4} \left| \frac{\epsilon_{\text{п}} - 1}{\epsilon_{\text{п}} + 2} \right|^2, \quad (1)$$

где $\epsilon_{\text{п}}$ – диэлектрическая проницаемость пылевидного материала (угольная пыль, цемент, мука); E_3 – напряжённость электрического поля зондирующей волны; l – расстояние от места нахождения частицы до приёмного устройства, осуществляющего приём рассеянной волны.

Из формулы (1) видно, что измерением напряжённости E_p можно вычислить радиус контролируемой частицы.

Известно, что концентрацию вещества можно определить подсчётом количества частиц (счётная концентрация, имеющая размерность м^{-3}), приходящихся на заданный интервал размеров, и подсчётом массы частиц (массовая концентрация частиц, имеющая размерность $\text{г}/\text{м}^3$). При определении относительного объёма, занимаемого частицами, вычисляется объёмная (относительная) концентрация, являющаяся безразмерной величиной.

Приведённые выше рассуждения позволяют констатировать, что при заданном объёме, имея информацию об одной частице, согласно принципу суперпозиции электромагнитных волн результирующая

величина напряжённости $E_{pN} = \sum_{i=1}^N E_i$, где E_i

– напряжённость электрического поля рассеянной от i -частицы волны должна соответствовать N частицам в данном объёме, т. е. счётной концентрации. С другой стороны, если рассматривать N число частиц в некотором измерительном объёме трубопровода как слой частиц, имеющий форму трубопровода по сечению, то определением сечения слоя частиц по формуле $\frac{\pi R_p^2}{4}$ через радиус R_p , измеряемой напряжённостью E_p , при известных плотности материала и скорости перемещения частиц по трубопроводу можно вычислить массовый расход. Следует отметить, что пропорциональное изменение напряжённости электрического поля от частиц может быть обеспечено рэлеевским рассеянием.

Если обозначить объём V_1 , занимаемый газовым компонентом в некотором измерительном объёме V трубопровода, то согласно определению для объёмной концентрации газового компонента C_1 можно записать

$$C_1 = \frac{V_1}{V}.$$

Аналогично, для объёмной концентрации пылевидного компонента C_2 в двухкомпонентном (газ–пыль) потоке можно принять V

$$C_2 = \frac{V_2}{V}.$$

В рассматриваемом случае с учётом объёмных концентраций газового и пылевидного компонентов напряжённости электрического поля рассеянной волны E_{pc} запишется в виде

$$E_{\text{pc}}^2 = \frac{128 \pi^2 R_p^r E_3^2}{3 l^2 \lambda_3^4 \sqrt{A + \sqrt{A^2 + \epsilon_{\text{п}}/2}}} \left| \frac{\epsilon_{\text{п}} - 1}{\epsilon_{\text{п}} + 2} \right|^2, \quad (2)$$

$$\text{где } A = \frac{(3C_1 - 1) + (3C_2 - 1)\epsilon_{\text{п}}}{4}.$$

Исследуем параметр A при изменении C_2 от 0 до 1 (максимального значения). Сначала выразим C_1 как $C_1 = 1 - C_2$. В результате параметр A запишется в виде

$$A = \frac{(2 - 3C_2) + (3C_2 - 1)\epsilon_{\text{п}}}{4}.$$

Из формулы видно, что при $C_2 = 0$ $\epsilon_{\text{п}} = 0$. Следовательно, $A = 0,5$. Таким образом, получаем, что при нулевой концентрации C_2 , означающей равенство $R_p = 0$, рассеяние отсутствует как по выражению (1), так и по выражению (2).

Рассмотрим случай, когда $C_2 = 1$. Тогда параметр A можно записать в виде

$$A = \frac{(-1) + 2\epsilon_{\text{п}}}{4}.$$

Отсюда вытекает, что при максимальной объёмной концентрации пылевидного материала значение параметра A зависит от величины $\epsilon_{\text{п}}$. Так, при $\epsilon_{\text{п}} = 4$, что наиболее характерно для частиц цемента, $A = 1,75$. В результате, если измерить E_{pc} при определённом количестве частиц в измерительном объёме трубопровода, то (при постоянных значениях R_p , λ_3 , E_3 и $\epsilon_{\text{п}}$) через параметр A можно определить объёмную концентрацию.

Практическая реализация процесса измерения концентрации пылевидных материалов на основе рэлеевского рассеяния предусматривает ввод в трубопровод сигнала микроволнового генератора с частотой и мощностью излучения (например, 34 ГГц и 20 мВт) и вывод из трубопровода рассеянного частицами пылевидного компонента сигнала с дальнейшим его преобразованием в амплитудном детекторе.

Дифракция волн – это огибание волнами препятствий. Общим условием дифракции волн лю-

бой природы является соизмеримость длины волны n с размером рассеивающего объекта. Различают дифракцию Френеля при $L \sim D^2/\lambda$ и дифракцию Фраунгофера при $L \gg D^2/\lambda$. Здесь D – характерный размер тела, на котором происходит дифракция, L – расстояние между излучателем и объектом наблюдения. Метод Френеля эффективен лишь тогда, когда размер тела сравним с размером зоны Френеля: $D \sim \sqrt{L\lambda}$ ($\sqrt{L\lambda}$ – величина зоны Френеля). Если размер тела меньше зоны Френеля, т.е. $D \ll \sqrt{L\lambda}$ (дифракция Фраунгофера), то картину дифракции можно характеризовать угловым распределением интенсивности потока.

Явление дифракции Фраунгофера на сферах положено в основу метода измерения дисперсных размеров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов. В работе [1] показано, что индикатриса рассеяния оптического излучения $I(\beta)$ на ансамбле частиц может быть записана в виде

$$I(\beta) = \frac{\bar{c}}{\beta^2} I_0 \int_0^\infty f(\rho) \rho^2 J_1^2(\rho\beta) d\rho, \quad (3)$$

где \bar{c} – нормирующий множитель; β – угол рассеяния (малоугловое рассеяние); $\rho = \frac{\pi d}{\lambda}$; d – диаметр сферической частицы; I_0 , λ – интенсивность и длина волны соответственно; $f(\rho)$ – функция распределения частиц по ρ (спектр размеров частиц); $J_1(x)$ – функция Бесселя 1-го ряда первого порядка.

В данном случае определение спектра частиц $f(\rho)$ по текущим значениям $I(\beta)$ сводится к решению уравнения (3). В работе [2] обосновано, что асимптотическое поведение волновой информации $I(\beta)\beta^3$ зависит от концентрации и среднего размера частиц, и для одного из предельных значений этой волновой информации $Q_1(\beta)$ можно записать

$$Q_1(\beta) = \frac{c}{\pi} N_k \bar{\rho},$$

где $c = 1/\bar{c}$; N_k – концентрация частиц; $\bar{\rho}$ – средний размер частиц.

Для определения концентрации частиц может быть использован закон Бугера–Бера

$$I(l_c) = I_0 e^{-k_\lambda l_c},$$

где l_c – толщина слоя вещества; k_λ – показатель поглощения, зависящий от длины волн, но не зависящий от их интенсивности.

Для растворов и других сред k_λ можно представить в виде произведения концентрации N_k на удельный показатель поглощения τ , который характеризует ослабление пучка луча в среде единичной концентрации и зависит от электрофизи-

ческих свойств вещества. Тогда закон Бугера–Бера запишется в виде

$$I(l_c) = I_0 e^{-\tau N_k l_c}.$$

Из формулы видно, что по интенсивности прошедшего слоя излучения можно измерить концентрацию частиц. Таким образом, на основе знания концентрации частиц можно определить и средний размер частиц. В результате этого возможно определить спектр частиц по размерам.

Приведённые выше рассуждения могут быть использованы для измерения диаметра капель воды в сырой нефти.

Известно, что при измерении содержания воды в сырой нефти в большинстве случаев используют высокочастотный резонансный преобразователь, выходная частотная характеристика которого может быть представлена в виде

$$\frac{\omega_3 - \omega_0}{\omega_0} = \frac{(\epsilon_{см} - 1)\pi d_k^2}{2ab},$$

где ω_0 и ω_3 – резонансные частоты пустого и заполненного контролируемой средой резонатора соответственно; $\epsilon_{см}$ – диэлектрическая проницаемость смеси; d_k – диаметр капель воды сферической формы; a и b – ширина и длина резонатора соответственно.

Из этого выражения видно, что диэлектрическая проницаемость смеси позволяет получить информацию об измеряемом параметре. Однако при $d_k = \text{var}$ (глобулы имеют неодинаковый геометрический размер) в измерении резонансной частоты возможно появление погрешности. Поэтому необходимо определить размер капель воды в сырой нефти.

Известно, что сырую нефть чаще всего транспортируют по трубопроводу. Поэтому спектр размеров капель воды в рассматриваемом случае необходимо определять в некотором измерительном объёме трубопровода. В данном случае для определения функции $f(d_k)$ (спектр размеров капель воды) можно использовать текущее значение индикатриса рассеяния, которое может быть представлено как решение уравнения (3):

$$f(d_k) = -\frac{c}{d_k} \int_0^\infty h_T(d_k\beta) I(\beta) d\beta, \quad (4)$$

где $I(\beta) = \theta(\beta) - \theta(\infty)$; $\theta(\beta) = \frac{I(\beta)}{I_0} \beta^3$;

$h_T(x) = -2\pi Y_1(x) [2xJ_0(x) - J_1(x)] - 4$ (ядро);

$Y_1(x)$ – функция Неймана; $J_0(x)$ – функция Бесселя 1-го ряда нулевого порядка.

При определённом условии (кусочно-постоянном характере $f(d_k)$) уравнение (4) может быть трансформировано в систему линейных уравне-

ний, которая затем, как показано в работе [3], решается с помощью компьютера. Однако для определения нормирующего множителя s необходимо выполнить закон Бугера–Бера, который может быть использован для определения диаметра (размера) каплей воды через счётную концентрацию.

При допущении о незначительном изменении концентрации каплей воды в сырой нефти, перемещаемой по трубопроводу, для определения диаметра (радиуса) каплей воды может быть предложен метод, использующий свойства рассеяния каплей воды при их зондировании электромагнитными волнами.

Пусть капля воды в сырой нефти зондируется импульсно-модулированным электромагнитным сигналом. Тогда согласно закону рассеяния от объекта и закону прохождения через объект волн значение тока протектированного сигнала можно записать в виде

$$I_g = kP_{и}, \quad (5)$$

где I_g – выпрямленный ток детектора; k – константа, характеризующая чувствительность детектора в выпрямленном режиме; $P_{и}$ – поступающая на детектор импульсная мощность.

Тогда выражение (5) с учётом площади импульса $S_{и}$ и площади капли воды $S_{к}$ запишется в виде

$$I_g = kP_{и} \frac{S_{и} - S_{к}}{S_{и}}. \quad (6)$$

Из формулы (6) вытекает, что при отсутствии капли воды в сырой нефти значение выпрямленного тока максимальное, а при наличии становится функцией отношения $(S_{и} - S_{к})/S_{и}$. Следовательно, максимальное значение I_g соответствует отсутствию капли сырой нефти, а минимальное ($I_g = 0$) – наличию капли воды площадью $S_{и}$. Отсюда однозначная зависимость тока I_g от изменения площади капли воды обеспечивается условием $S_{и} \geq S_{к}$.

Из выражения (6) площадь капли воды имеет вид

$$S_{к} = \frac{S_{и}(kP_{и} - I_g)}{kP_{и}}.$$

Эту формулу при сферической форме капли воды можно записать в виде

$$r_{к}^2 = \frac{S_{и}(kP_{и} - I_g)}{4\pi kP_{и}},$$

где $r_{к}$ – радиус капли воды сферической формы.

Из формулы видно, что при постоянных значениях $S_{и}$, k и $P_{и}$ после измерения выпрямленного тока I_g можно судить о радиусе, т. е. о геометри-

ческом размере капли воды в сырой нефти. Следует отметить, что $S_{и}$ можно варьировать амплитудой импульса $U_{и}$ и его длительностью $t_{и}$; $P_{и}$ определяется как $U_{и}I_{и}$, где $I_{и}$ – ток импульса. Кроме того, в каждом конкретном случае необходимо создать импульс формой, близкой форме контролируемой капли воды.

Практическая реализация метода определения размера капли воды в сырой нефти очень проста. Импульсным модулятором осуществляют модуляцию электромагнитного сигнала источника излучения 10 мВт, например, полупроводникового генератора ГЛПД-1 с частотой 9,3 ГГц и мощностью излучения, т. е. на его выходе получают импульсно-модулированный сигнал по амплитуде. Этот сигнал с помощью передающей рупорной антенны вводят в трубопровод, по которому перемещается сырая нефть. В зависимости от размера капли воды в потоке сырой нефти получают соответствующий сигнал, который выводят из трубопровода приёмной рупорной антенной. После этого сигнал передаётся на вход детектора. Измерение значения тока выходного сигнала позволяет оценить размер капли воды в сырой нефти. В данном случае из-за высокой диэлектрической проницаемости воды на микроволновых частотах влияние электрофизических свойств сырой нефти на распространение волны от передающей антенны до приёмной не учитывается.

Таким образом, проведённая работа позволяет сделать следующие выводы:

известные результаты по определению спектра размеров частиц, основанные на дифракции Фраунгофера, могут быть использованы для решения задач измерения концентрации и размеров частиц других материалов с различными электрофизическими свойствами;

рэлеевское рассеяние частиц сыпучих материалов в трубопроводах может оказаться наиболее эффективным способом определения концентрации и размеров частиц;

зондирование волной частицы с модулированными характеристиками позволяет упростить процедуру определения размеров частицы материалов с высокой диэлектрической проницаемостью.

Библиографические ссылки

1. **Карпов О.В., Лесников Е.В., Балаханов М.В.** Измерение дисперсного состава аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов // Главный метролог. 2004. № 2. С. 42–46.
2. **Шифрин К.С., Колмаков И.Б.** Вычисление спектра размеров частиц по текущим и интегральным значениям индикатрисы в области малых углов // Физика атмосферы и океана. Т. III. 1987. № 12. С. 1271–1278.
3. **Борисова Е.В.** Универсальный малогабаритный прибор для измерения размеров частиц аэрозвесей. Методы и средства измерений параметров дисперсных сред: Сб. науч. тр. ВНИИФТРИ. М., 1991. С. 34–36.



ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 004.622

А.В. Крицкий, канд. техн. наук (Екатеринбургская академия современного искусства),
Е.П. Дегтярев, И.М. Москалев, канд. техн. наук, **Б.И. Клебанов**, канд. техн. наук, доц.
(Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург), **А.В. Немтинов**, канд. техн. наук (Комитет стратегического планирования
администрации г. Екатеринбурга)

a.kritskiy@mail.ru

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ КРУПНОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Рассмотрены вопросы применения современных информационных технологий в процессе сбора и обработки статистической информации в рамках системы поддержки принятия управленческих решений для руководителей среднего и высшего звена муниципалитета.

Ключевые слова: информационные технологии, система управления статистикой, муниципальные информационные системы.

Questions of the contemporary information technology application in the collection and treatment process of the statistical information in the system framework of the management decide support for middle and superior municipality officials..

Key words: information technology, system statistics control, municipal information systems.

Любое муниципальное образование представляет собой комплексную социально-экономическую систему, являющуюся результатом взаимодействия часто противоречащих друг другу по целям функционирования элементов, и обладает множеством неявных прямых и обратных связей. Необходимость учёта большого количества различных факторов (статистических показателей) при управлении городской средой повышает риск принятия неверного решения, которое может негативно сказаться на всех субъектах экономики и социальной сферы города при проверке в реальной обстановке. Наличие достоверной информации и своевременность её получения — необходимое условие принятия грамотных управленческих решений. Применение современных информационных технологий в муниципальном управлении позволяет обеспечить оперативную реакцию на происходящие трансформации внешней среды и становится одним из ключевых факторов повышения эффективности муниципального управления.

В последнее время существенно вырос интерес государства к эффективности функционирования органов местного самоуправления. В Федеральном законе [1] большое внимание уделено информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления, размещаемой в Интернете. Закон регулирует отноше-

ния, связанные с обеспечением доступа граждан, организаций, общественных объединений, иных государственных органов, а также органов местного самоуправления к информации о деятельности данных структур [1]. В то же время Указом Президента и Распоряжением Правительства РФ определён перечень показателей, характеризующих эффективность функционирования органов местного самоуправления.

Мониторинг социально-экономической ситуации в городе основывается на данных муниципальной статистики, источниками которых являются [2]:

муниципальная отчётность, формируемая органами администрации г. Екатеринбурга, муниципальными учреждениями и предприятиями в соответствии с формами и сроками, утверждёнными правовыми актами главы Екатеринбурга;

государственная статистическая отчётность, сформированная Федеральной службой государственной статистики или её территориальными органами;

сведения, получаемые путём информационного обмена с администрациями других муниципальных образований, органами государственной власти и научными организациями;

данные, сформированные информационными автоматизированными системами органов госу-

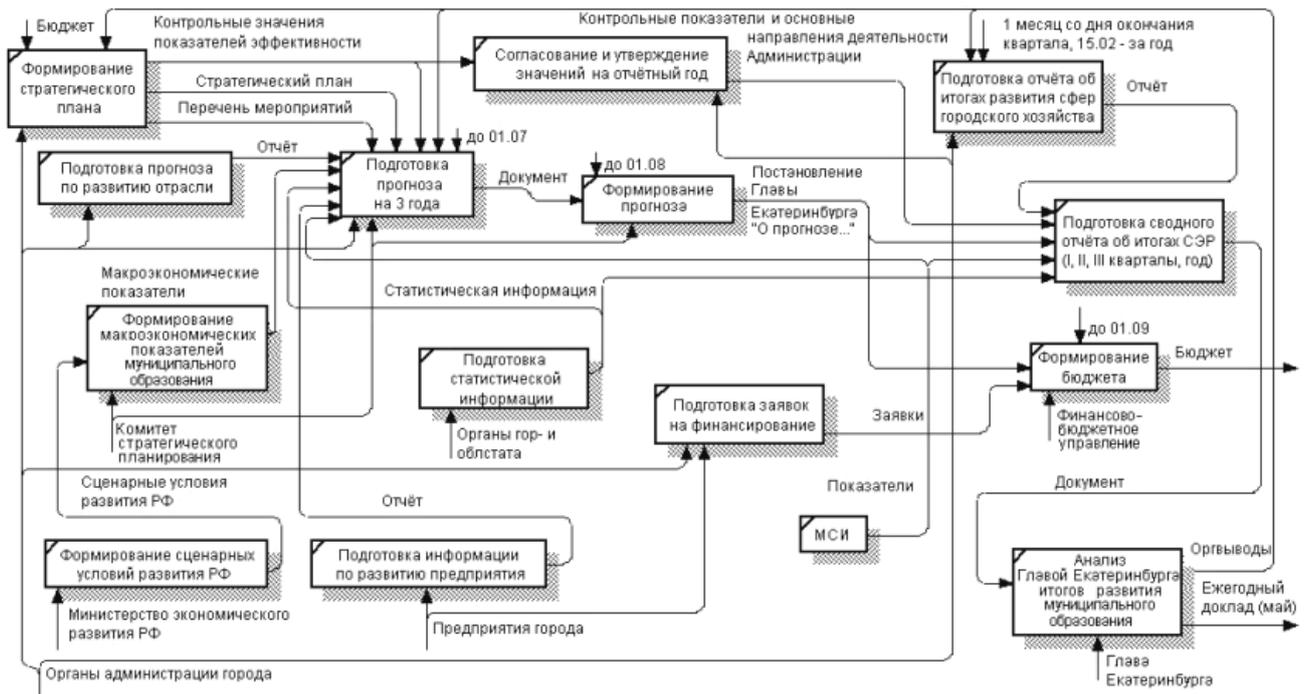


Рис. 1. Процесс применения муниципальной статистической информации

дарственной власти и местного самоуправления с применением различных методик;

отчётность, представляемая предприятиями и организациями иных форм собственности.

На практике сбор и обработка такого массива информации в условиях города-миллионника – сложный процесс. На текущий момент основными способами сбора данных являются бумажные формы и, в редких случаях, электронная почта. Некоторые органы администрации г. Екатеринбурга разрабатывают собственные приложения на основе Microsoft Excel или средства работы с формами. Но зачастую информация, собранная с помощью таких средств, не может быть использована повторно, и поэтому сотрудникам приходится вводить одни и те же сведения по несколько раз, что приводит к росту числа ошибок и снижает эффективность бизнес-процессов на муниципальном уровне. В настоящее время назрела необходимость разработки адекватного современным условиям инструментария – информационной системы, позволяющей решить указанные выше проблемы, унифицировать отчётность, упростить процесс сбора и обработки данных, повысить качество данных и предоставить удобные средства для многократного использования информации по всей организации.

Процесс применения муниципальной статистической информации (МСИ) администрацией г. Екатеринбурга представлен на рис. 1.

Разработанная система по управлению МСИ позволяет повысить эффективность муниципаль-

ного управления посредством унификации и ускорения процесса сбора информации, оперативность её обработки и контроль качества. Компонентная структура системы представлена на рис. 2. Центральным элементом является база данных, отвечающая за правильность, быстроту и корректность хранимой в ней информации. Взаимосвязанные с ней модули реализуют отдельные функции системы.

Система управления МСИ необходима для внедрения в администрации единой унифицированной системы отчётности, оценки эффективности деятельности органов местного самоуправления, а также реализации в муниципалитете саморазвивающегося «организма», способного накапливать, проверять информацию, обладать механизмом подсказки пользователям о последствиях возможных действий и иметь возможность самообучения.

Информационная структура системы представлена на рис. 3.

В зависимости от прав пользователя система управления МСИ имеет два модуля.

Модуль сбора и корректировки информации (реализован средствами web-среды Microsoft SharePoint Server) обладает следующими функциями:

- отображает разделы показателей в виде древовидной структуры в зависимости от прав пользователя;

- формирует показатели по конкретному разделу структуры;



Рис. 2. Компонентная структура системы управления муниципальной статистической информацией

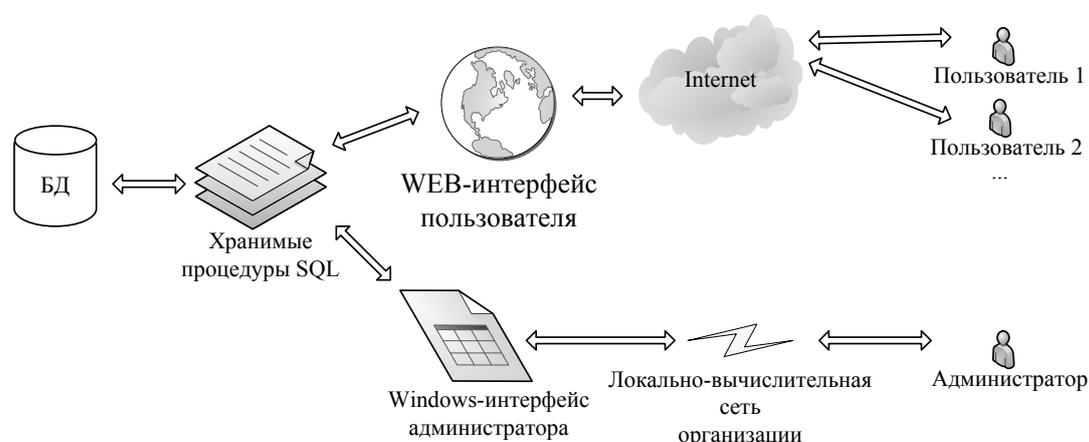


Рис. 3. Структура информационных потоков системы

осуществляет ввод/корректировку значений показателей;

фильтрует значения показателей по заданным характеристикам (временным – год, квартал, месяц; территориальным – город, область, страна; типовым – плановые/фактические);

показывает графические зависимости динамики выбранных показателей;

формирует отчёт по выбранному разделу структуры.

Модуль управления структурой показателей и правами пользователей (реализован средствами Windows-приложения) реализует следующий функционал:

управление справочниками единиц измерения, территорий, типов территорий, стилей и типов параметров;

редактирование элементов иерархической структуры разделов показателей в виде древовидной структуры;

ввод/корректировка свойств элементов иерархической структуры;

создание расчётного показателя из элементов иерархической структуры;

управление пользователями системы – поиск пользователей в Active Directory, регистрация пользователей в системе, назначение пользователю прав для работы с определёнными элементами иерархической структуры (просмотр значений, ввод/корректировка значений, запрет просмотра).

Основу первого модуля составляют элементы (web-части), представленные на рис. 4: «Разделы», «Фильтр значений», «Параметры раздела».

Данный модуль имеет настраиваемый для пользователя интерфейс, т. е. каждую web-часть администратор портала может размещать на необходимом месте страницы.

Web-часть «Разделы» отображает дерево разделов показателей и позволяет определить активный раздел, содержащий показатели, с которыми необходимо работать. В web-части предусмотрена функция фильтрации дерева показателей по отделу.

Web-часть «Фильтр значений» позволяет произвести выборку показателей для более быстрого и удобного представления. Фильтрация осуществляется по годам, типу значения показателя (фак-

Разделы

Информационно-аналитический отдел

- Основные показатели развития экономики
- Уровень и качество жизни
- Финансы
- Городское хозяйство
- Социальная сфера
- Территория, земельные отношения
- Деятельность отдельных подразделений Администрации города

Фильтр значений

Вывести значения: с 1998 До 2002

Фактические Плановые

I квартал II квартал
 III квартал IV квартал
 Годовые Январь
 Февраль Март
 Апрель Май
 Июнь Июль
 Август Сентябрь
 Октябрь Ноябрь
 Декабрь

Часто используемые города

Российская Федерация
 Екатеринбург
 Свердловская область

Применить изменения

Параметры раздела

| Наименование параметра | ед.изм. | | 1998г. | 1999г. | 2000г. | 2001г. | 2002г. |
|---|----------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Объём производства по крупным и средним предприятиям | млн.руб. | <input type="checkbox"/> | 49,419 | 31,35 | 63,251 | 91,57 | 133,49 |
| Объём отгруженной продукции в % к объёму произведённой, по круп. и сред. предприятиям | % | <input type="checkbox"/> | 99,3 | 15,5 | 2,2 | 0,5 | 64,8 |
| Количество работающих на крупных и средних предприятиях без совн.(на конец периода) | тыс.чел. | <input type="checkbox"/> | 1,7 | 2,333 | 2,481 | 2,69 | 2,829 |
| Средняя заработная плата (в среднем за период) | руб. | <input type="checkbox"/> | 2004 | 2898 | 4489 | 5691 | 6934,75 |
| Средняя заработная плата на конец квартала/периода | руб. | <input type="checkbox"/> | | | | | |

Рис. 4. Web-интерфейс пользователя системы

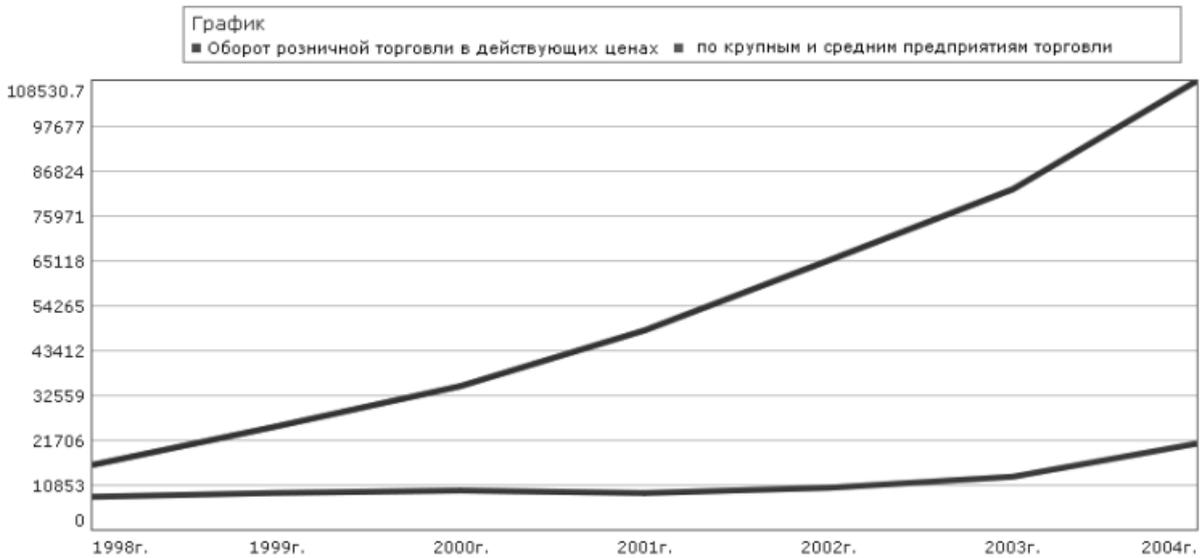


Рис. 5. Графическая зависимость выбранных показателей

тические, плановые), отчётному периоду, за который представлен показатель (годовые, квартальные, месячные), и по городу. Также предусмотрена возможность фильтрации городов для более быстрого поиска необходимых данных.

Web-часть «Параметры раздела» отображает в виде таблицы значения всех показателей выбран-

ного раздела. При наличии прав у пользователя можно добавлять и изменять значения показателей. В web-части предусмотрена возможность построения графика (рис. 5) и вывода на печать отчёта по выбранным показателям.

Работа пользователя с системой осуществляется по следующему алгоритму:

| | | | | | | | | | |
|---|----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------|-------|-------|------|-------|
| Объём отгруженной продукции в % к объёму произведённой, по круп. и сред. предприятиям | % | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 99,3 | 15,5 | 2,2 | 0,5 | 64,8 |
| Количество работающих на крупных и средних предприятиях без совм.(на конец периода) | тыс.чел. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1,7 | 2,333 | 2,481 | 2,69 | 2,829 |

Рис. 6. Редактирование показателей

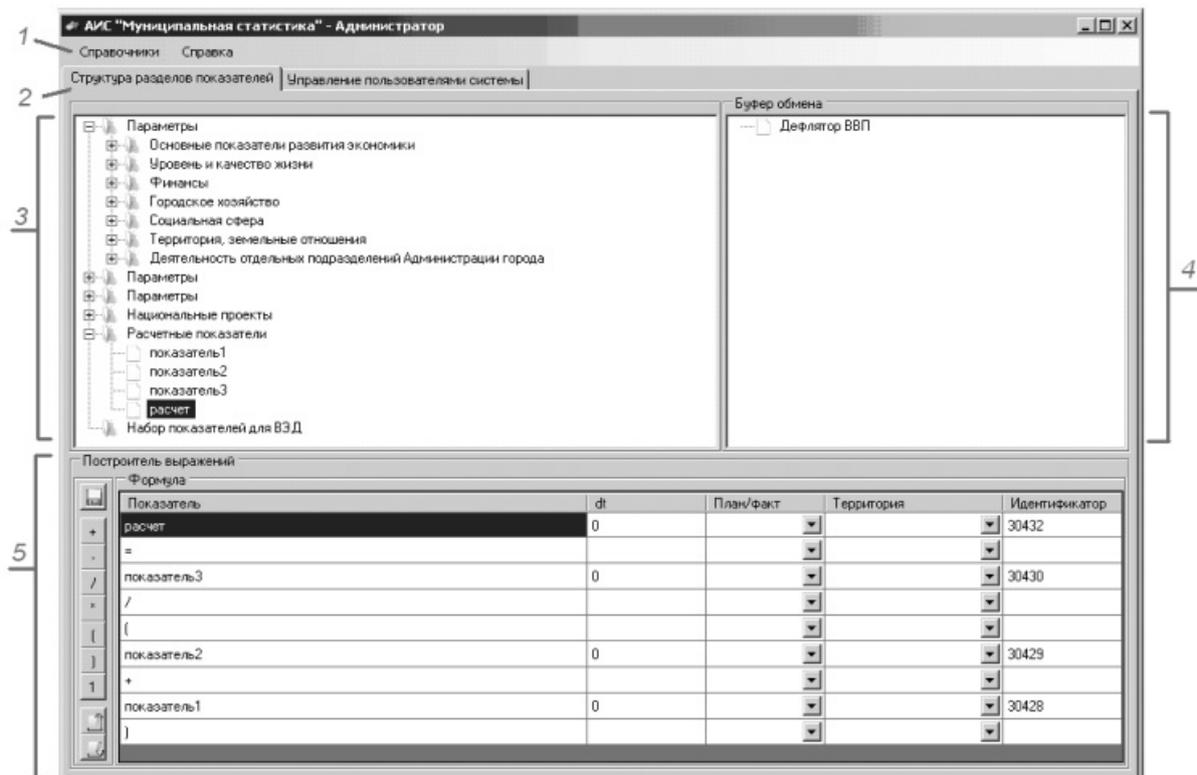


Рис. 7. Общий вид модуля управления статистическими показателями:

1 – меню (содержит команды работы со справочниками); 2 – вкладки (позволяют выбрать режим работы со структурой показателей или с правами пользователей); 3 – иерархическая структура статистических показателей; 4 – буфер обмена; 5 – построитель выражений для создания расчётных показателей

вход на Internet-страницу системы на портале Microsoft SharePoint;

определение отдела, в котором находится нужный раздел;

выбор нужных настроек в web-частях «Разделы» и «Фильтр значений» для появления запрашиваемой информации;

внесение при необходимости изменений в значения показателей или дополнение таблицы новыми значениями посредством ввода информации в текстовые поля (рис. 6);

выведение на экран отчёта для печати (при необходимости);

построение графика изменений значений показателей по интересующим показателям (при необходимости).

Далее перейдем ко второму модулю системы, работу с которым осуществляет администратор системы. Для его запуска необходимо скачать это приложение с соответствующей страницы портала SharePoint. Данный модуль является клиентской Windows-программой.

Общий вид рабочего пространства модуля представлен на рис. 7.

В нижней части модуля расположен интерфейс построителя расчётных показателей.

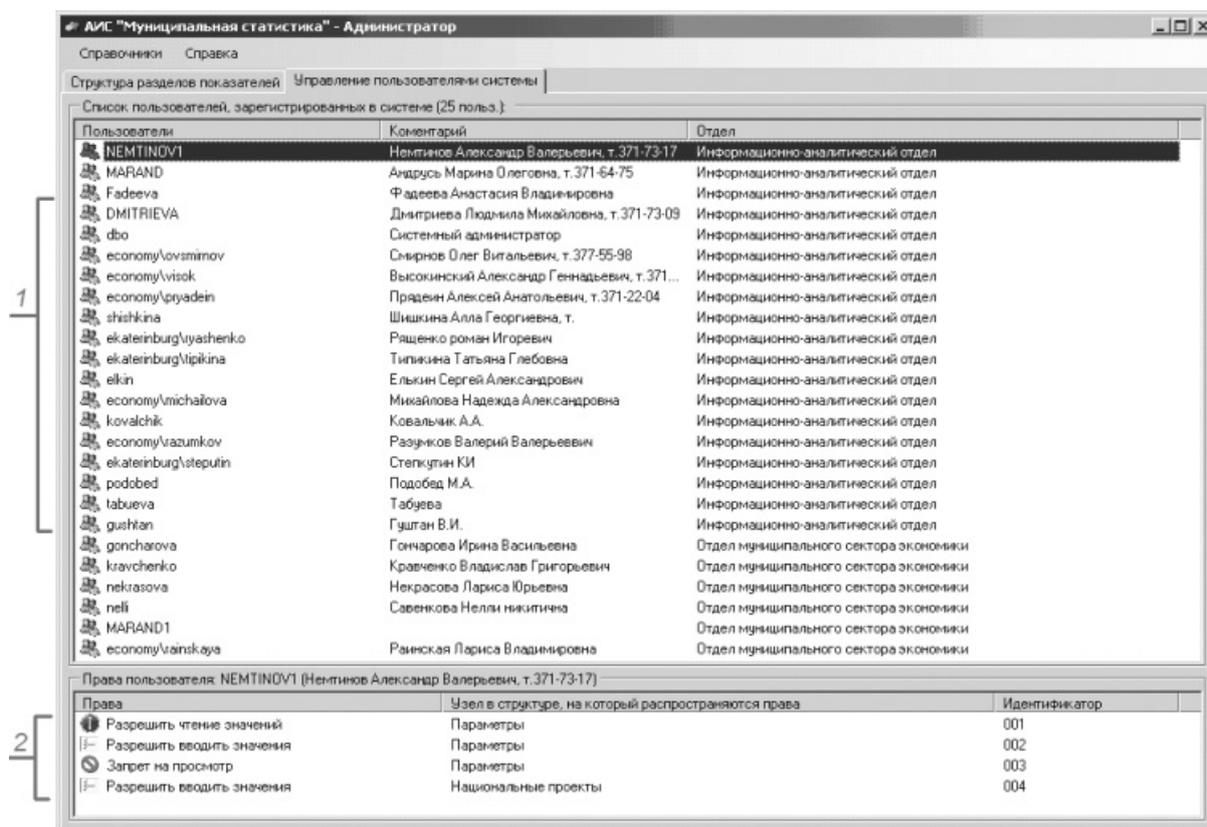


Рис. 8. Общий вид системы при работе в режиме назначения прав пользователей

Для создания расчётного показателя необходимо в контекстном меню выбрать пункт «Сделать показатель расчётным» и добавить в формулу необходимые первичные показатели, используя технологию Drag 'n' Drop. Формулы для хранения в базе данных преобразовываются в обратную польскую запись (ОПЗ) для избавления от скобок, содержащихся в выражении. В реализации функционала системы по формированию расчётного показателя для преобразования выражения в ОПЗ используется стек.

Для управления пользователями системы в модуле имеется вкладка «Управление пользователями системы». В этом случае внешний вид интерфейса программы будет подобен представленному на рис. 8 (в области 1 представлен перечень пользователей web-интерфейса системы, в области 2 – права пользователя на разделы/показатели).

Для изменения прав пользователя на доступ к тому или иному разделу необходимо щёлкнуть правой кнопкой мыши в области 2 и выбрать соответствующий пункт меню.

Таким образом, в администрации г. Екатеринбурга создан инструмент, который приводит к перестройке существующих процессов, устранению наиболее слабых мест, в основном связанных с плохой подготовкой отчётности подразделениями

и временными задержками в предоставлении информации. Эти узкие места способствовали многоитерационному процессу предоставления отчётности. Также данный инструмент эффективно вписывается в концепцию Федерального закона от 9 февраля 2009 г. № 8-ФЗ «Об обеспечении доступа к информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления» для опубликования оценки эффективности деятельности органов местного самоуправления. Принципиальное отличие нового подхода к получению информации заключается в применении системы, которая представляет собой инструмент автоматизации деятельности подразделений в процессах составления отчётности и предоставления её посредством Интернета, а также аккумуляции информации в единой базе данных.

Библиографические ссылки

1. **Федеральный закон** от 9 февраля 2009 г. № 8-ФЗ «Об обеспечении доступа к информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления».

2. **Постановление** главы Екатеринбурга от 13 марта 2008 г. № 870 «Об утверждении Положения о муниципальной статистической информации в муниципальном образовании “город Екатеринбург”».

УДК 658.52.011

А.И. Сердюк, д-р техн. наук, **Р.Р. Рахматуллин**, канд. техн. наук, **А.С. Русяев**
(Оренбургский государственный университет)

sap@mail.osu.ru

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРАВИЛ ОБСЛУЖИВАНИЯ В АСУ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЯЧЕЕК

Описан разработанный метод оценки эффективности правил обслуживания реализуемых в АСУ компьютерно-управляемых комплексов производственного оборудования. Приведены результаты вычислительных экспериментов, отражающие закономерности изменения производительности, загрузки и срока окупаемости гибких производственных ячеек в зависимости от использованных правил обслуживания. На основе ранжированной оценки результатов вычислительных экспериментов сформулированы выводы по практическому применению полученных результатов.

Ключевые слова: машиностроение, гибкие производственные ячейки, АСУ, правила обслуживания.

Developed valuation method of the maintenance rules efficiency realized in the ACS of the computer controlled complexes for production equipment is described. Calculating experiments results representing conformity to productivity change, loading and cover of expenditure time of the flexible production cells depending on the utilized maintenance rules are adduce. Resume are formulated for practical application of the received results from a range valuation of the calculating experiments results.

Key words: engineering industry, flexible production cells, ACS, maintenance rules.

При разработке алгоритмов АСУ гибких производственных ячеек (ГПЯ), решающих задачи упорядочения и выбора из очередей, обычно используется метод эвристических правил обслуживания. Известно множество правил, каждое из которых ориентируется на достижение различных целей и реализует один из возможных путей протекания производственного процесса. Выбор правил обслуживания представляет собой сложную задачу, а эвристический характер большинства из них делает эту задачу ещё и слабоформализованной.

Известно, что общее решение задачи выбора правил обслуживания отсутствует, а частные решения находятся в каждом конкретном случае с помощью компьютерного моделирования. При этом вначале необходимо создание компьютерной модели, качество которой во многом зависит от опыта и квалификации разработчика.

Была поставлена задача количественной оценки эффективности различных правил обслуживания в АСУ ГПЯ. Для её решения разработаны и исследованы алгоритмы реализации известных правил: с первой заявки в очереди (*FIFO*), с последней заявки в очереди (*LIFO*), по приоритетам станков (*PRIO*), по минимальной трудоёмкости заготовок в накопителе (*TWK*), по минимальному остаточному времени в рабочей зоне (*LWKR*), по

минимальному числу заготовок в накопителе (*NXQL*), по минимальному времени транспортной операции (*SPT*).

Установлено, что в АСУ ГПЯ необходимо использовать комбинации как минимум из двух правил: основного, регламентирующего взаимодействие оборудования в установившемся режиме, и дополнительного, устанавливающего приоритеты в обслуживании технологического оборудования на начальном и завершающем этапах цикла безлюдной работы системы.

В качестве дополнительного предусмотрен выбор одного из трёх правил, с учётом основного, исключающих риск неопределённости выбора заявки: по приоритетам станков, по минимальному времени транспортной операции, по минимальному расстоянию от станка до ячейки склада.

Полученная таким образом 21 комбинация правил обслуживания рассматривалась на компьютерной модели ГПЯ, состоящей из станков типа «обрабатывающий центр» с пристаночными накопителями паллет и многоярусного склада с краном-штабелёром.

Компьютерная модель разработана в системе моделирования *Fapia* [1, 2], основанной на методе автоматизированного построения циклограмм работы оборудования, дополненной возможностями учёта нескольких транспортных средств,

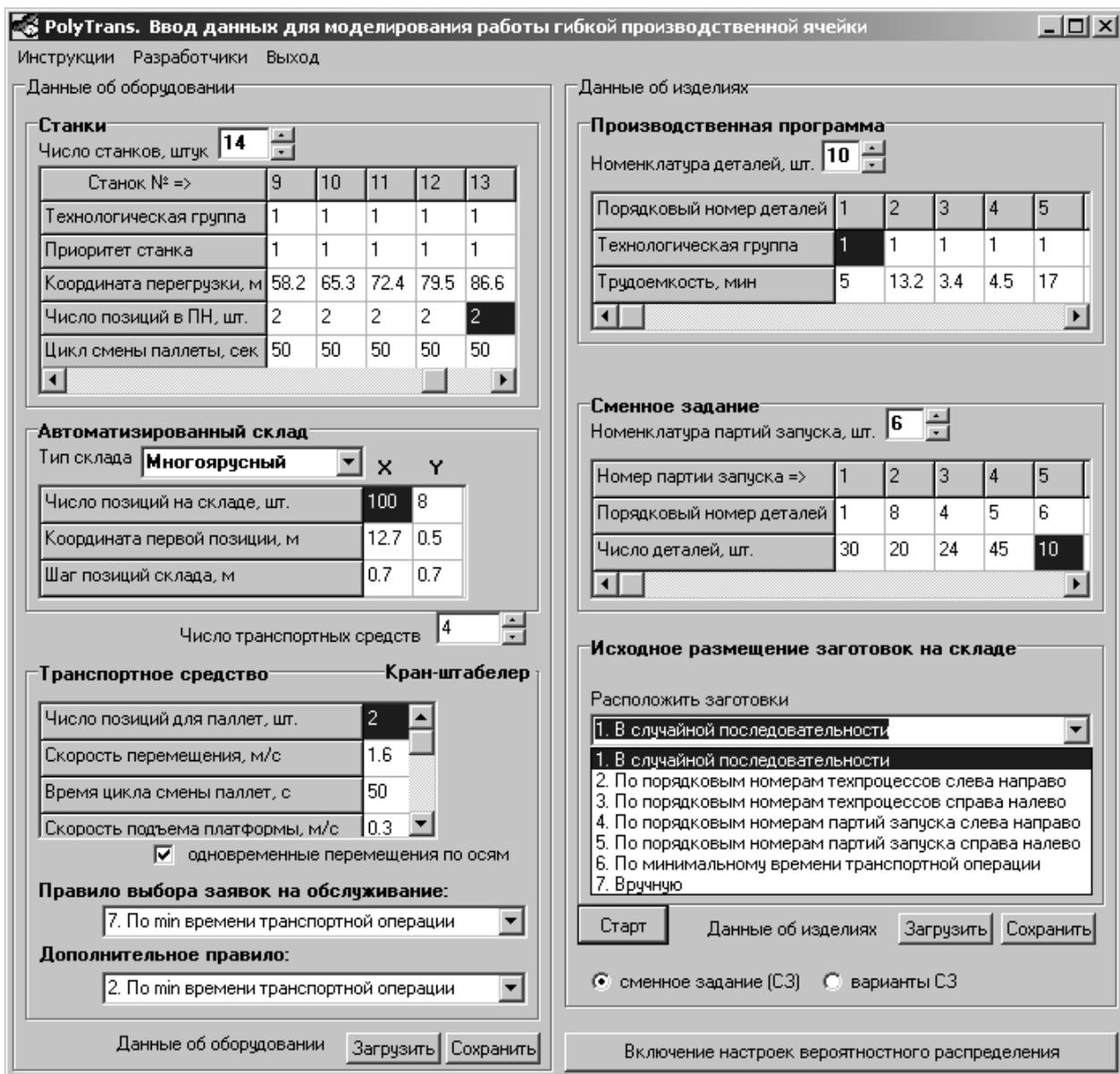


Рис. 1. Экранная форма настройки компьютерной модели

случайного приращения плановой трудоёмкости изделий и расширенным списком вариантов начального размещения заготовок (рис. 1).

В процессе моделирования варьировались следующие технические, технологические и организационные параметры ГПЯ: цикл загрузки/выгрузки (10–50 с) и скорость перемещения крана-штабелёра (0,5–2,5 м/с), цикл смены заготовки в рабочей зоне станка (10–50 с) и число позиций в пристаночном накопителе (2–10 поз.), время обработки одной детали (2–30 мин), варианты исходного размещения заготовок на складе (шесть вариантов); длительность цикла безлюдной работы ГПЯ (480–1200 мин).

Оценка эффективности работы ГПЯ проводилась по средним значениям и рассеянию трёх по-

казателей: производительности $P_{ГПЯ}$, коэффициента загрузки $K_{ГПЯ}$ и прироста срока окупаемости L_0 (рис. 2).

Для накопления результатов экспериментов в MS Excel разработана форма, обеспечивающая наглядную систематизацию входных и выходных данных, повторяемость вычислительных экспериментов и удобство использования встроенных сервисных функций, включая графическую интерпретацию и аппроксимацию результатов (см. таблицу). Пример графической обработки результатов приведён на рис. 3.

Сводные результаты вычислительных экспериментов представлены в виде матриц эффективности правил обслуживания при различных технических, технологических и организационных па-

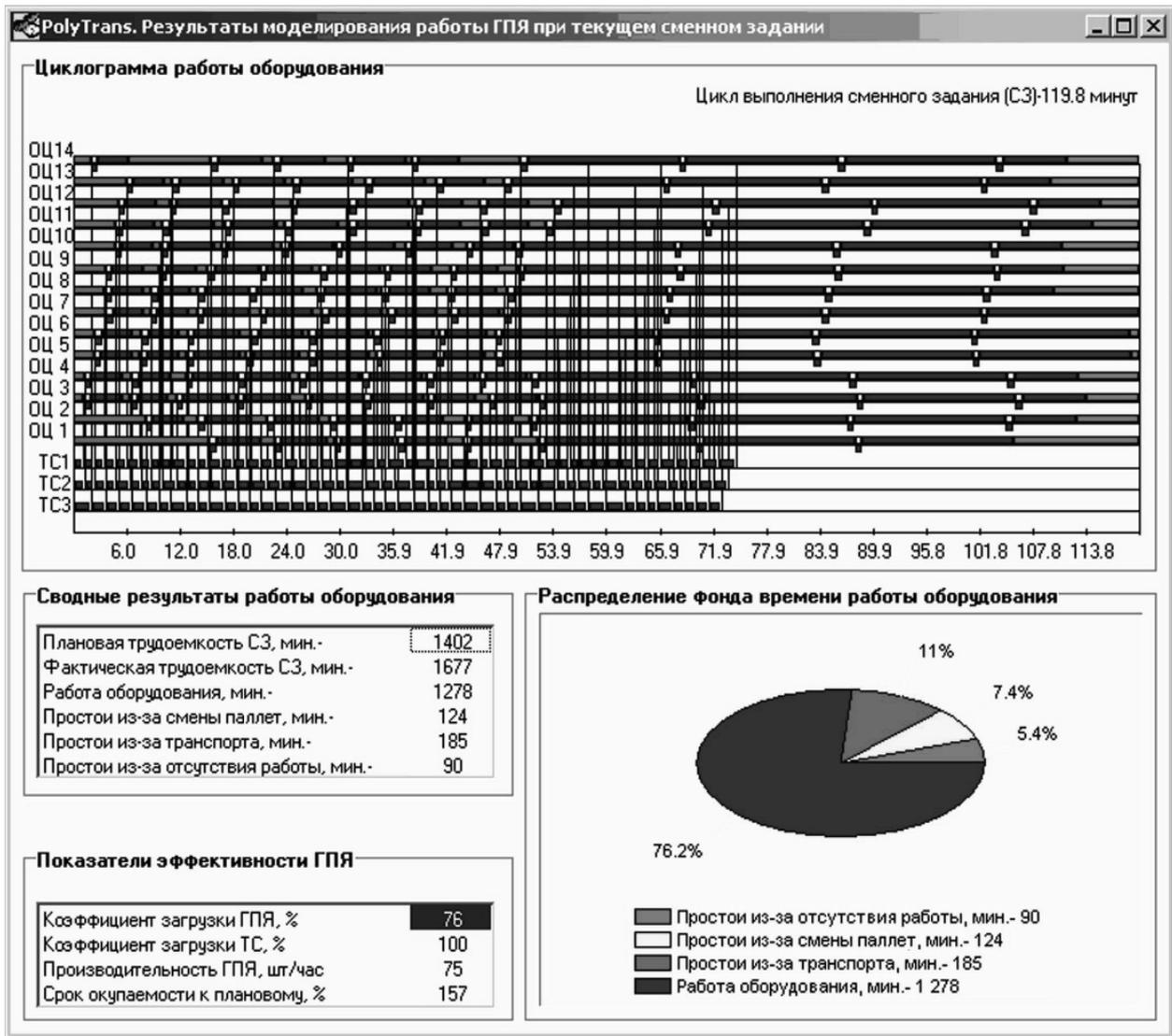


Рис. 2. Экранная форма с результатами моделирования

раметрах ГПЯ (рис. 4). Матрицы разработаны для показателей средних значений и полей рассеяния $K_{ГПЯ}$, $P_{ГПЯ}$ и L_0 . Среднее значение характеризует достигнутый уровень показателя, поле рассеяния – его стабильность [3].

На пересечении каждой из 21 комбинаций правил обслуживания и соответствующего параметра проставлено среднее значение коэффициента загрузки $K_{ГПЯ}^{mod}$, полученное в результате вычислительных экспериментов на множестве от 267 до 1781 варианта сменного задания. Тем самым обеспечена высокая достоверность представленных статистических данных. Закрашенные клетки соответствуют комбинациям правил, которые обеспечивают максимальное значение рассматриваемого показателя при соответствующем параметре ГПЯ. В двух нижних строках матрицы представлен максимальный прирост показателя от использования данной комбинации правил,

выраженный в абсолютных и относительных единицах. В двух крайних правых колонках матрицы представлена частота оптимального использования данной комбинации правил (max = 41, или 100 %).

Вероятность, выраженная в процентах, использована для количественной (балльной) оценки эффективности комбинаций правил по показателям $K_{ГПЯ}$, $P_{ГПЯ}$ и L_0 .

С применением средств MS Excel выполнена сортировка комбинаций правил обслуживания, некоторые результаты которой представлены на рис. 5.

Результаты получены лишь на ограниченном множестве использованных входных данных. Нет оснований экстраполировать результаты на все возможные сочетания комбинаций правил обслуживания с техническими, технологическими и организационными параметрами ГПЯ, которые,

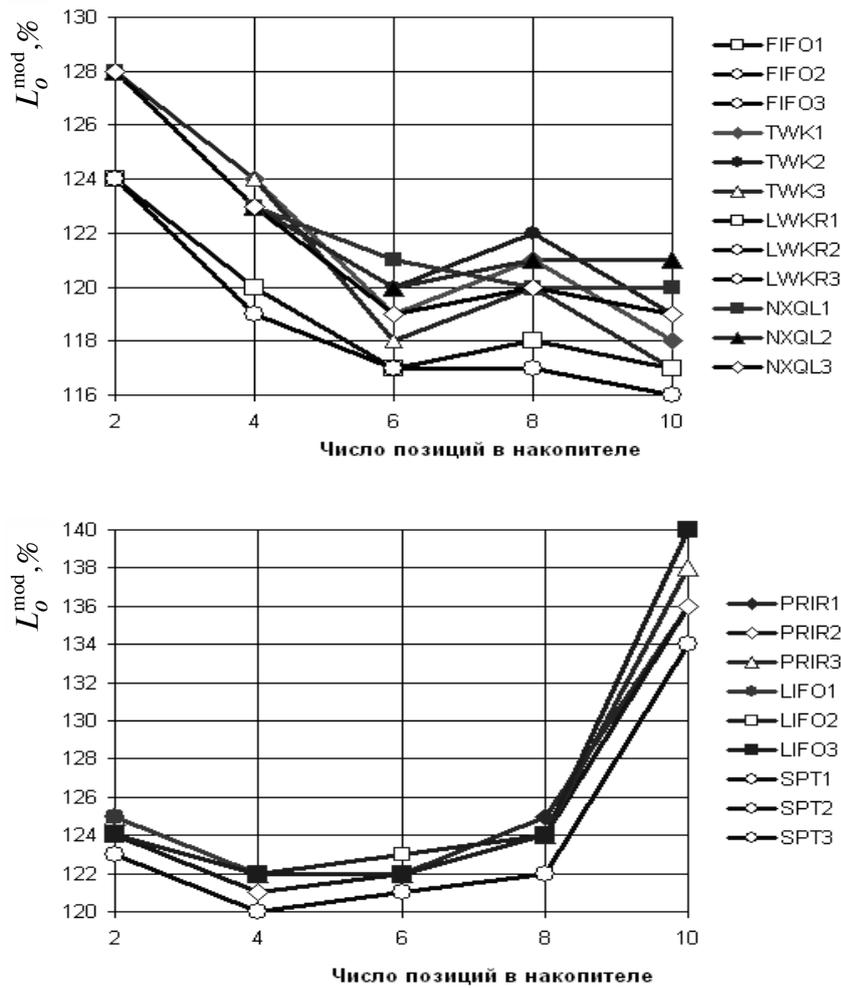


Рис. 3. Две группы комбинаций правил обслуживания, по-разному влияющих на эффективность гибкой производственной ячейки при изменении ёмкости пристаночных накопителей

в свою очередь, из-за огромного числа комбинаций полностью исследовать не представляется возможным.

Вместе с тем можно сделать следующие выводы.

В 98 % ситуаций, рассмотренных в вычислительных экспериментах, максимальная средняя загрузка $K_{ГПЯ}^{mod}$ обеспечивается при использовании комбинаций правил FIFO2, FIFO3, LWKR2 и LWKR3. Наибольшие потери от использования других комбинаций правил составляют в среднем 6–7%. При этом величина потерь уменьшается с увеличением средней трудоёмкости изделий.

Комбинации правил FIFO2 и FIFO3 оптимальны по критерию средней производительности с максимально возможной вероятностью 95%. Потери стабильности производительности из-за неоптимального применения FIFO2 и FIFO3 составляют около 6% и достигают 25% при увеличении длительности цикла безлюдной работы ГПЯ до двух смен (960 мин).

В 90 % ситуаций оптимальным по критерию L_0^{mod} является использование комбинации правил LWKR2. При этом наибольшая стабильность функционирования ГПЯ по данному показателю (наименьшее поле рассеяния ω_L) оценивается вероятностью 50%. Такую же вероятность по стабильности ω_L имеют комбинации FIFO2 и FIFO3. Риск использования данных комбинаций в области оптимальности LWKR2 составляет 3%, а потери из-за увеличения прироста срока окупаемости менее – 1%.

Таким образом, с вероятностью свыше 90% можно прогнозировать оптимальность использования при проектировании АСУ ГПЯ в качестве основного правила обслуживания – «с первой заявки в очереди», в качестве дополнительных – правил по минимальному времени транспортной операции или по минимальному расстоянию от ячейки склада.

Работа выполняется при финансовой поддержке гранта № 613 «Исследование механизма и за-

| Правила | Загрузка транспорта, с | | | | | Скорость транспорта, м/с | | | | | Загрузка станка, с | | | | | Емкость накопителя, штук | | | | | Вариант заполнения склада | | | | | | Цикл безлюдной работы ячейки, мин | | | | | Средняя трудоемкость деталей, мин | | | | | | | | | | Σ | % |
|--------------------------------|------------------------|----|----|----|----|--------------------------|----|-----|----|-----|--------------------|----|----|----|----|--------------------------|----|----|----|----|---------------------------|----|----|----|----|----|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 120 | 240 | 480 | 720 | 960 | 1200 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 10 | 15 | 30 | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | | |
| FIFO1 | 75 | 82 | 88 | 91 | 92 | 77 | 86 | 88 | 89 | 89 | 83 | 84 | 84 | 84 | 85 | 89 | 90 | 91 | 91 | 91 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 76 | 68 | 80 | 88 | 91 | 90 | 90 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 91 | 92 | 91 | 36 | 88 |
| FIFO2 | 75 | 82 | 88 | 91 | 92 | 78 | 86 | 88 | 89 | 90 | 83 | 84 | 84 | 84 | 85 | 89 | 90 | 91 | 91 | 91 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 76 | 68 | 80 | 88 | 91 | 90 | 90 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 91 | 93 | 92 | 40 | 98 |
| FIFO3 | 75 | 82 | 88 | 91 | 92 | 78 | 86 | 88 | 89 | 90 | 83 | 84 | 84 | 84 | 85 | 89 | 90 | 91 | 91 | 91 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 76 | 68 | 80 | 88 | 91 | 90 | 90 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 91 | 93 | 92 | 40 | 98 |
| LIFO1 | 70 | 77 | 82 | 86 | 90 | 73 | 81 | 83 | 84 | 85 | 78 | 78 | 79 | 80 | 81 | 89 | 89 | 88 | 87 | 87 | 70 | 70 | 70 | 70 | 72 | 62 | 72 | 83 | 88 | 88 | 89 | 27 | 43 | 60 | 70 | 81 | 88 | 91 | 92 | 91 | 4 | 10 | |
| LIFO2 | 70 | 77 | 82 | 86 | 90 | 73 | 81 | 83 | 84 | 85 | 78 | 78 | 79 | 79 | 80 | 89 | 89 | 89 | 88 | 87 | 70 | 70 | 70 | 70 | 71 | 62 | 73 | 82 | 88 | 88 | 90 | 32 | 43 | 60 | 69 | 81 | 88 | 91 | 93 | 92 | 8 | 20 | |
| LIFO3 | 70 | 77 | 82 | 86 | 90 | 73 | 81 | 83 | 84 | 85 | 78 | 78 | 79 | 79 | 80 | 89 | 89 | 89 | 88 | 87 | 70 | 70 | 70 | 69 | 70 | 62 | 73 | 83 | 88 | 88 | 90 | 32 | 43 | 60 | 69 | 81 | 88 | 91 | 93 | 92 | 8 | 20 | |
| PRIR1 | 70 | 77 | 82 | 87 | 90 | 72 | 81 | 83 | 85 | 85 | 78 | 78 | 79 | 80 | 80 | 89 | 89 | 89 | 88 | 87 | 70 | 71 | 71 | 70 | 70 | 62 | 72 | 83 | 88 | 88 | 90 | 29 | 43 | 60 | 69 | 80 | 88 | 91 | 93 | 91 | 6 | 15 | |
| PRIR2 | 71 | 78 | 83 | 87 | 90 | 74 | 82 | 84 | 85 | 86 | 78 | 79 | 79 | 80 | 81 | 89 | 89 | 89 | 88 | 88 | 71 | 71 | 71 | 71 | 72 | 63 | 73 | 83 | 89 | 89 | 89 | 32 | 45 | 60 | 70 | 81 | 88 | 91 | 93 | 92 | 8 | 20 | |
| PRIR3 | 70 | 77 | 82 | 87 | 90 | 74 | 81 | 83 | 84 | 86 | 78 | 78 | 79 | 80 | 81 | 89 | 89 | 89 | 88 | 87 | 70 | 70 | 70 | 70 | 72 | 63 | 73 | 83 | 89 | 89 | 89 | 32 | 45 | 60 | 70 | 81 | 88 | 91 | 93 | 92 | 8 | 20 | |
| TWK1 | 75 | 81 | 87 | 90 | 91 | 76 | 85 | 87 | 88 | 88 | 82 | 83 | 84 | 84 | 84 | 88 | 89 | 90 | 91 | 91 | 75 | 75 | 75 | 74 | 75 | 68 | 80 | 87 | 90 | 89 | 89 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 89 | 90 | 92 | 16 | 39 | |
| TWK2 | 75 | 81 | 87 | 90 | 91 | 77 | 85 | 87 | 88 | 89 | 82 | 83 | 84 | 84 | 84 | 88 | 89 | 90 | 91 | 91 | 75 | 75 | 75 | 74 | 74 | 67 | 80 | 87 | 91 | 89 | 90 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 91 | 90 | 92 | 18 | 44 | |
| TWK3 | 75 | 81 | 87 | 90 | 91 | 76 | 85 | 87 | 88 | 88 | 82 | 83 | 84 | 84 | 84 | 88 | 89 | 90 | 91 | 91 | 75 | 75 | 75 | 74 | 74 | 67 | 80 | 87 | 91 | 89 | 90 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 91 | 90 | 92 | 18 | 44 | |
| LWKR1 | 75 | 82 | 88 | 91 | 92 | 77 | 86 | 88 | 89 | 89 | 83 | 84 | 84 | 84 | 85 | 87 | 90 | 91 | 91 | 91 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 76 | 68 | 80 | 88 | 91 | 90 | 90 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 91 | 92 | 91 | 35 | 85 |
| LWKR2 | 75 | 82 | 88 | 91 | 92 | 78 | 86 | 88 | 89 | 90 | 83 | 84 | 84 | 84 | 85 | 89 | 90 | 91 | 91 | 91 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 76 | 68 | 80 | 88 | 91 | 90 | 90 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 91 | 93 | 92 | 40 | 98 |
| LWKR3 | 75 | 82 | 88 | 91 | 92 | 78 | 86 | 88 | 89 | 90 | 83 | 84 | 84 | 84 | 85 | 89 | 90 | 91 | 91 | 91 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 76 | 68 | 80 | 88 | 91 | 90 | 90 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 91 | 93 | 92 | 40 | 98 |
| NXQL1 | 75 | 81 | 87 | 90 | 91 | 77 | 86 | 87 | 88 | 89 | 82 | 84 | 84 | 84 | 85 | 88 | 89 | 90 | 90 | 90 | 75 | 75 | 75 | 75 | 74 | 75 | 67 | 79 | 87 | 91 | 89 | 89 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 16 | 39 |
| NXQL2 | 75 | 81 | 87 | 90 | 91 | 77 | 86 | 87 | 89 | 89 | 82 | 84 | 84 | 84 | 85 | 88 | 89 | 90 | 91 | 90 | 75 | 75 | 75 | 74 | 74 | 67 | 80 | 87 | 91 | 89 | 90 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 91 | 90 | 92 | 22 | 54 | |
| NXQL3 | 75 | 81 | 87 | 90 | 91 | 77 | 86 | 88 | 88 | 89 | 82 | 84 | 84 | 84 | 85 | 88 | 89 | 90 | 90 | 90 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 67 | 80 | 87 | 91 | 89 | 90 | 30 | 45 | 60 | 75 | 87 | 88 | 91 | 90 | 92 | 21 | 51 |
| SPT1 | 72 | 79 | 85 | 88 | 91 | 78 | 84 | 85 | 86 | 86 | 80 | 81 | 81 | 82 | 83 | 89 | 90 | 89 | 89 | 88 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 73 | 63 | 73 | 83 | 89 | 89 | 90 | 32 | 45 | 60 | 71 | 81 | 88 | 91 | 93 | 91 | 10 | 24 |
| SPT2 | 72 | 79 | 84 | 88 | 91 | 78 | 84 | 85 | 86 | 86 | 80 | 81 | 81 | 82 | 83 | 89 | 90 | 89 | 88 | 88 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 73 | 63 | 73 | 83 | 89 | 89 | 90 | 32 | 45 | 60 | 71 | 81 | 88 | 91 | 93 | 92 | 11 | 27 |
| SPT3 | 72 | 79 | 84 | 88 | 91 | 78 | 84 | 85 | 86 | 86 | 80 | 81 | 81 | 82 | 83 | 89 | 90 | 89 | 88 | 88 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 73 | 63 | 73 | 83 | 89 | 89 | 90 | 32 | 45 | 60 | 71 | 81 | 88 | 91 | 93 | 92 | 11 | 27 |
| ΔL ₀ ^{max} | 5 | 5 | 6 | 5 | 2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 8 | 6 | 3 | 2 | 1 | 5 | 2 | 0 | 6 | 7 | 0 | 2 | 3 | 1 | | | |
| % | 7 | 6 | 7 | 5 | 2 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 | 10 | 7 | 3 | 2 | 1 | 15 | 4 | 0 | 8 | 8 | 0 | 0 | 2 | 1 | | | |

Рис. 4. Эффективность использования комбинаций правил обслуживания по критерию $K_{ГПЯ}^{mod}$

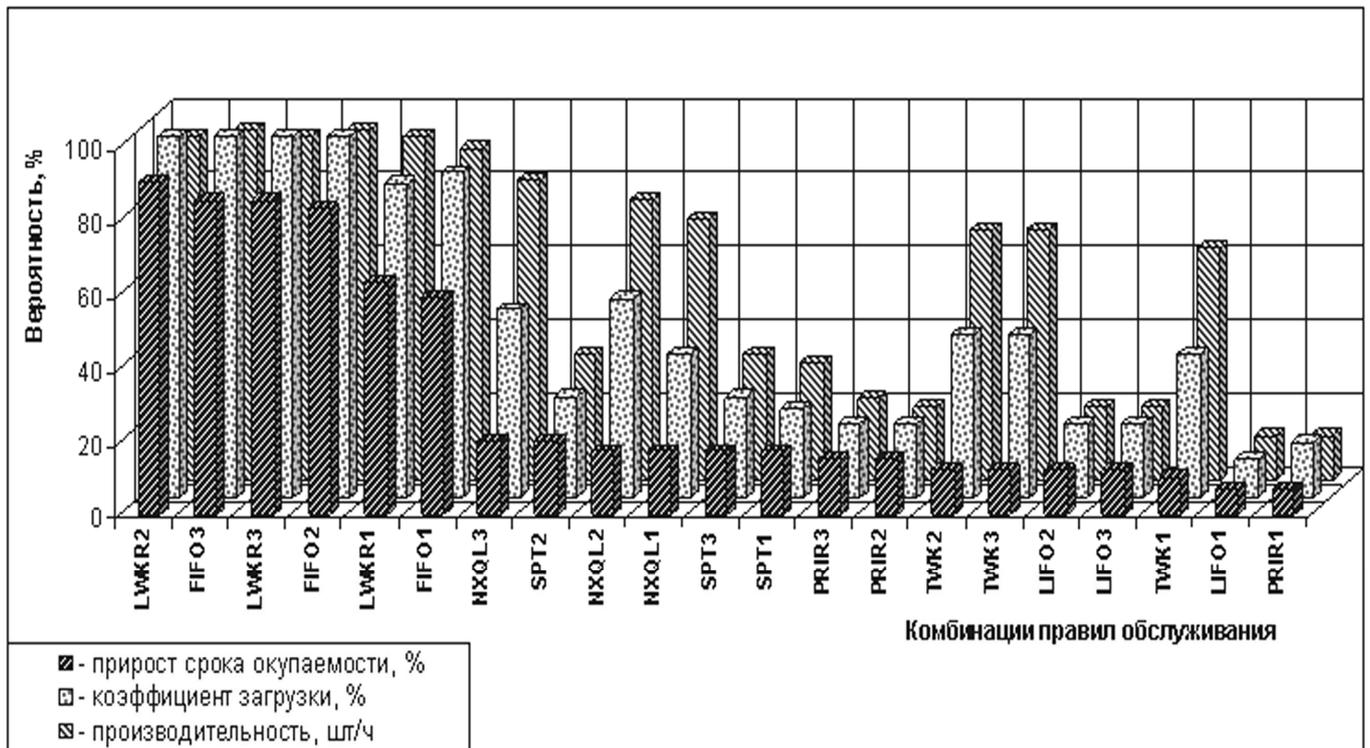


Рис. 5. Результат сортировки комбинаций правил обслуживания по критериям средних значений

$$K_{ГПЯ}^{mod}, P_{ГПЯ}^{mod} \text{ и } L_0^{mod}$$

Фрагмент таблицы результатов вычислительных экспериментов

| | |
|---|--|
| Исходные данные: номенклатура изделий в гибкой производственной ячейке: 10 наименований с трудоёмкостью 5,0; 13,2; 3,4; 2,5; 17; 7,1; 2,8; 1,8; 6,4; 24 мин 5 станков (первые из списка), 8-местный накопитель, склад 60×8 = 480 ячеек цикл безлюдной работы 480 мин предельный размер партий запуска 60 шт. дискретность приращения партий запуска 30 недогрузка оборудования 1 % размещение заготовок на складе// случайным образом | Варьируемые параметры: сочетания правил приоритетов цикл смены паллет на кране-штабелёре: 50, 40, 30, 20,10 с |
|---|--|

| № п/п | Правило | Показатель | Цикл смены паллет на кране-штабелёре | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|------------|--------------------------------------|-----|------------|-----|------------|-----|------|------------|------------|------|-----|------------|------|-----|------------|
| | | | 50 с | | | 40 | | | 30 с | | | 20 с | | | 10 с | | |
| | | | min | mod | max | min | mod | max | min | mod | max | min | mod | max | min | mod | max |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | FIFO1 | $K_{ГПЯ}$ | 49 | 75 | 93 | 57 | 82 | 93 | 67 | 88 | 94 | 79 | 91 | 94 | 86 | 92 | 94 |
| | | $P_{ГПЯ}$ | 17 | 27 | 29 | 17 | 31 | 35 | 18 | 34 | 41 | 18 | 36 | 46 | 18 | 37 | 49 |
| | | L_O | 109 | 223 | 362 | 109 | 174 | 271 | 108 | 138 | 193 | 107 | 119 | 145 | 107 | 113 | 117 |
| 2 | FIFO2 | $K_{ГПЯ}$ | 49 | 75 | 93 | 57 | 82 | 93 | 67 | 88 | 94 | 79 | 91 | 94 | 86 | 92 | 94 |
| | | $P_{ГПЯ}$ | 17 | 27 | 29 | 17 | 31 | 35 | 18 | 34 | 41 | 18 | 36 | 46 | 18 | 37 | 49 |
| | | L_O | 109 | 222 | 362 | 109 | 174 | 270 | 108 | 138 | 191 | 107 | 119 | 144 | 107 | 113 | 117 |
| 3 | FIFO3 | $K_{ГПЯ}$ | 49 | 75 | 93 | 57 | 82 | 93 | 67 | 88 | 94 | 79 | 91 | 94 | 86 | 92 | 94 |
| | | $P_{ГПЯ}$ | 17 | 27 | 29 | 17 | 31 | 35 | 18 | 34 | 41 | 18 | 36 | 46 | 18 | 37 | 49 |
| | | L_O | 109 | 222 | 362 | 109 | 174 | 270 | 108 | 138 | 191 | 107 | 119 | 144 | 107 | 113 | 117 |
| 4 | LIFO1 | $K_{ГПЯ}$ | 43 | 70 | 91 | 51 | 77 | 92 | 59 | 82 | 93 | 71 | 86 | 93 | 76 | 90 | 94 |
| | | $P_{ГПЯ}$ | 17 | 25 | 30 | 17 | 29 | 35 | 17 | 32 | 40 | 17 | 34 | 44 | 17 | 36 | 47 |
| | | L_O | 114 | 272 | 464 | 112 | 205 | 338 | 109 | 166 | 250 | 108 | 139 | 178 | 108 | 125 | 152 |
| 5 | LIFO2 | $K_{ГПЯ}$ | 43 | 70 | 92 | 51 | 77 | 92 | 59 | 82 | 93 | 71 | 86 | 93 | 76 | 90 | 94 |
| | | $P_{ГПЯ}$ | 17 | 25 | 29 | 17 | 28 | 35 | 17 | 32 | 40 | 17 | 34 | 44 | 17 | 36 | 47 |
| | | L_O | 112 | 272 | 464 | 112 | 207 | 339 | 110 | 167 | 253 | 108 | 139 | 178 | 108 | 124 | 151 |
| 6 | LIFO3 | $K_{ГПЯ}$ | 43 | 70 | 92 | 51 | 77 | 92 | 59 | 82 | 93 | 71 | 86 | 93 | 76 | 90 | 94 |
| | | $P_{ГПЯ}$ | 17 | 25 | 29 | 17 | 28 | 35 | 17 | 32 | 40 | 17 | 34 | 44 | 17 | 36 | 47 |
| | | L_O | 112 | 272 | 464 | 112 | 207 | 339 | 110 | 167 | 253 | 108 | 139 | 178 | 108 | 124 | 151 |
| 7 | PRIR1 | $K_{ГПЯ}$ | 44 | 70 | 93 | 51 | 77 | 92 | 59 | 82 | 92 | 71 | 87 | 93 | 76 | 90 | 94 |
| | | $P_{ГПЯ}$ | 17 | 25 | 29 | 17 | 28 | 35 | 17 | 32 | 40 | 17 | 34 | 44 | 17 | 36 | 48 |
| | | L_O | 111 | 272 | 454 | 113 | 205 | 335 | 111 | 166 | 250 | 109 | 138 | 176 | 108 | 124 | 152 |

кономерностей перехода от технического задания к техническому предложению на создание гибких производственных ячеек» в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 гг.).

Библиографические ссылки

1. Патент 2006611542 РФ. Программа многокритериальной оценки проектных решений в гибких произ-

водственных ячейках механообработки «Fania»: программа для ЭВМ. М.: Роспатент, 2006.

2. Сердюк А.И., Рахматуллин Р.Р. Программа оценки правил обслуживания в АСУ комплексов технологического оборудования // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2006. № 10. С. 14–23.

3. Сердюк А.И., Рахматуллин Р.Р. Проектирование гибких производственных ячеек методом автоматизированного построения циклограмм // Вестник машиностроения. 2008. № 4. С. 85–87.



ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

ТЕЛЕПОРТАЦИЯ НАЯВУ С ПОМОЩЬЮ CISCO ūMI

Результаты исследования VNI (Visual Networking Index – «Индекс развития визуальных сетевых технологий»), регулярно проводимого компанией Cisco, показывают, что за период с 2009 по 2014 г. объём видеотрафика вырастет в 7 раз, причем доля видео в глобальном интернет-трафике к 2014 г. превысит 90%. Распространение пользовательского видео в Интернете резко меняет рыночную конъюнктуру, вызывает к жизни новые технологии и создает спрос на новые приложения и высококачественные услуги.

В современном, быстро меняющемся мире свободное время начинает цениться на вес золота. У людей остается всё меньше времени для общения с друзьями и родственниками. В связи с этим 6 октября 2010 г. Cisco представила решение ūmi telepresence – первую домашнюю версию корпоративной технологии Cisco TelePresence. Это решение даёт возможность общаться с родственниками, друзьями и знакомыми так, будто они находятся в одной с вами комнате, причём связь устанавливается с помощью существующего телеприёмника высокой четкости (HDTV) одним нажатием кнопки. В состав Cisco ūmi входят три компонента: видеочасть, консоль и пульт дистанционного управления, а также услуги ūmi и сайт umiconnect.com.

Читатель может спросить: «Зачем мне видео высокой четкости, если до сих пор мне вполне хватало телефона, электронной почты и текстовых сообщений?» Ответ прост: ничто не заменит общения лицом к лицу. Это факт, подтверждённый наукой. Исследование, проведённое Калифорнийским университетом, показало, что лишь 7% человеческого общения напрямую зависит от слов, а 38% – от тональности, выразительности и скорости речи. Именно поэтому мы так часто неправильно истолковываем содержание электронной почты и текстовых сообщений. Вместе с тем, по данным того же исследования, взаимопонимание на 55% зависит от мимики и жестов. «Эти факторы и делают Cisco ūmi продуктом совершенно нового типа, поскольку это решение учитывает множество факторов человеческого общения, – говорит вице-президент компании Cisco Кен Вирт (Ken Wirt), отвечающий за маркетинг потребительских продуктов. – Высокое качество видео имеет огромное значение, и это отличает Cisco ūmi от существующих веб-чатов, где пользователи видят только лицо собеседника, упуская

язык жестов. Cisco ūmi поддерживает более полный и естественный тип общения: вы видите не просто человека, склонившегося на ноутбуком. Cisco ūmi позволяет видеть каждого члена семьи, а также домашних животных. Вы можете с ними общаться совершенно естественным образом. При этом вы увидите не только своих собеседников, но и реальную обстановку, в которой они живут. Это радикальным образом отличает Cisco ūmi от обычного веб-чата».

По словам вице-президента компании Cisco, генерального менеджера подразделения потребительских систем Telepresence Джинны Кларк (Gina Clark), с тех пор, как четыре года назад Cisco вывела на рынок свою технологию TelePresence, ей постоянно задавали вопрос: «Когда я смогу установить такую систему у себя дома?» Проведя интенсивные исследования, Cisco пришла к выводу о том, что для данного решения готов большой рынок, которому нужен продукт, позволяющий общаться с друзьями и родственниками в естественной среде, какую невозможно создать с помощью веб-камер и персональных компьютеров.

В США миллионы домохозяйств уже сегодня могут подключиться к услугам Cisco ūmi, говорит директор компании Cisco по маркетингу потребительских продуктов Майк Киш (Mike Kisch), цитируя отчёт аналитической компании IDC, согласно которому к концу 2010 г. технологию Cisco ūmi будут в состоянии поддержать 32 млн. американских домохозяйств, а к 2012 г. число таких домохозяйств практически удвоится (для поддержки Cisco ūmi нужен телеприёмник высокой четкости и широкополосный выход в Интернет).

По словам Киша, «наивысшее качество связи возникает, когда пользователи Cisco ūmi общают-



ся друг с другом. Вместе с тем первые пользователи этой технологии могут устанавливать видеосоединения с любым компьютером, на котором установлены веб-камера и система видеочатов Google. Пользователи могут записывать видеоматериалы Cisco ūmi, выкладывать их в Facebook и YouTube и передавать по электронной почте. Кроме того, в ближайшем будущем мы планируем интегрировать эту технологию с решением FlipShare».

Разработкой услуг «телеприсутствия» для домашнего пользования компания Cisco занялась три года назад. При этом сотрудники подразделения потребительских решений Telepresence воспользовались опытом, накопленным при создании корпоративной версии Cisco TelePresence. Важнейшим требованием при разработке Cisco ūmi была максимальная простота и интуитивная понятность конечного продукта и способов его эксплуатации. Именно это, наряду с высокой реалистичностью среды TelePresence, отличает решение Cisco ūmi от Skype TV и видеочатов, основанных на персональных компьютерах и веб-камерах. Решение Cisco ūmi всегда готово к работе

и запускается одним нажатием кнопки, не требуя ввода логинов и запуска закрытых приложений.

«В основе наших лучших решений лежат инновации. В данном случае главным инновационным фактором стала реалистичная виртуальная среда telepresence для любого жилища с телеприемником высокой чёткости и широкополосным выходом в Интернет, — рассказывает Джина Кларк. — В отличие от разработчиков корпоративного решения Cisco TelePresence, создатели Cisco ūmi не могли менять освещение, мебель и цвет стен: потребительский продукт должен работать в любой обстановке, настраиваясь на её особенности. Это была одна из главных наших проблем, но она же открыла перед нами новые возможности. В рамках общей стратегии работы на потребительском рынке мы разработали аппаратное решение, «облачную» услугу и веб-портал, не упуская из виду главную цель — высокое качество изображения и простоту эксплуатации. При этом нам удалось скрыть от конечного пользователя сложность технологии, предоставив ему простой интерфейс, открывающий интуитивно понятный доступ к удобным высококачественным услугам».



СПРАВОЧНИК СЛЕСАРЯ-МОНТАЖНИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Серия справочников для рабочих

В.И. Голованов, П.П. Алексеенко, В.А. Калугин и др.

2010 г. 640 с. ISBN 978-5-94275-528-7

Цена 1300 р.

Изложены основы строительно-монтажного производства, система обеспечения безопасности при выполнении монтажных работ. Даны основы и практические рекомендации по эффективной деятельности монтажных предприятий и организаций в современных рыночных отношениях. Главное внимание обращено на вопросы технологической подготовки производства, методы осуществления основных монтажных работ, приемы выполнения слесарных, сборочных и вспомогательных работ и обеспечение их безопасного производства. Приведены сведения о составе и технологической структуре процессов и операций, выполняемых при монтаже оборудования промышленных предприятий. Представлены характеристики точности, технические характеристики инструмента, машин и приспособлений, используемых монтажниками. Рассмотрены вопросы испытания и ввода оборудования в эксплуатацию, а также организации оплаты труда в монтажных организациях.

По сравнению со вторым изданием содержание справочника значительно видоизменено, а объем увеличен. Введены новые главы: «Основы строительно-монтажного производства», «Обеспечение безопасности при производстве строительно-монтажных работ», «Нормирование и оплата труда монтажников». Приведены новые виды инструментов и приспособлений и их характеристики. Дополнены отдельные главы и внесены изменения в технологию и процессы монтажа оборудования. Обновлена система стандартов и внесены соответствующие изменения в справочник.

Справочник предназначен для слесарей-монтажников промышленного и технологического оборудования, рабочих смежных специальностей, учащихся специальных учебных заведений, техникумов и колледжей.

107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98
и на сайте WWW.MASHIN.RU