

**ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

№ 1 (25)

2013

СОДЕРЖАНИЕ

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

- Шибанов С. В., Мезенков А. А., Шевченко О. А., Илюшкин А. С.* Принципы организации и функционирования активных пакетов для обмена информацией и конфигурирования распределенных приложений 5
- Козлова Т. Д., Игнатьев А. А.* Экспертная система поддержки принятия решений для определения причин отказов автоматизированных станочных модулей 19
- Подмарькова Е. М.* Применение информационно-аналитической системы реструктуризации административно-территориального деления регионов 26

**ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И РАДИОТЕХНИКА**

- Давыдов И. А., Шельяков А. Н.* Исследование зависимости инерционного роста регулируемой величины от параметров переходного процесса 35
- Горячев В. Я., Гаврина О. В., Чапчиков Ю. К., Шатова Ю. А.* Анализ систематической погрешности информационно-измерительной системы на основе датчика биений вала с бегущим магнитным полем 46

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Артамонов Д. В., Литвинов М. А., Литвинов А. Н.* Динамика конструктивных элементов изделий в виде слоистых панелей 58
- Асанов Р. Э., Косов М. Г., Кузнецов А. П.* Выбор мехатронных модулей по их технологическому уровню 68
- Наумов Л. В.* Закономерности электроосаждения сплава кобальт-никель при различных режимах электролиза 76
- Курносов Н. Е., Тарнопольский А. В., Асосков А. С.* Совершенствование технологии механической обработки с использованием вихревой ионизации воздуха 85

| | |
|---|-----|
| Воячек И. И., Кошелева Ю. Н., Муйземнек А. Ю. Выбор режимов алмазного глубинного шлифования труднообрабатываемых материалов из условия сохранения режущей способности круга..... | 94 |
| Полянсков Ю. В., Евсеев А. Н., Поройков В. А. Моделирование седиментации пробы смазочно-охлаждающей жидкости с использованием видеоинформации и закономерностей гранулометрического состава примесей | 102 |
| Левкина О. Ю. Применение информационных технологий в организации конструкторско-технологической подготовки литейного производства авиастроительного предприятия..... | 115 |
| Мокрушин Ю. А., Шамин В. Ю. Необходимость совершенствования проектирования технологических процессов в машиностроении | 123 |

**UNIVERSITY PROCEEDINGS
VOLGA REGION
ENGINEERING SCIENCES**

№ 1 (25)

2013

CONTENT

**COMPUTER SCIENCE, COMPUTER
ENGINEERING AND CONTROL**

-
- Shibanov S. V., Mezenkov A. A., Shevchenko O. A., Ilyushkin A. S.* Organizational and functional principles of active packets for information exchange and distributed application configuration 5
- Kozlova T. D., Ignat'ev A. A.* Expert decision making support system determining the causes of automated machine module failures 19
- Podmar'kova E. M.* Application of information-analytical system of regional administrative and territorial division restructuring 26

**ELECTRONICS, MEASURING EQUIPMENT
AND RADIO ENGINEERING**

-
- Davydov I. A., Shel'pyakov A. N.* Research of the dependence of controlled variable inertial growth on transient process characteristics 35
- Goryachev V. Y., Gavrina O. V., Chapchikov Y. K., Shatova Y. A.* Analysis of a systematic error of an information- measuring system on the basis of a shaft beat detector with traveling magnetic field 46

MACHINE SCIENCE AND BUILDING

-
- Artamonov D. V., Litvinov M. A., Litvinov A. N.* Dynamics of structural components in the form of multilayer panels 58
- Asanov R. E., Kosov M. G., Kuznetsov A. P.* Selection of mechatronic modules according to its technological level 68
- Naumov L. V.* Regularities of cobalt-nickel alloy electrodepositing in various modes of electrolysis 76
- Kurnosov N. E., Tarnopol'skiy A. V., Asoskov A. S.* Improvement of technology of mechanical treatment using vortical air ionization 85
- Voyachek I. I., Kosheleva Y. N., Muyzemnek A. Y.* Selecting the modes of deep diamond grinding of churlish materials for retaining circle's cutting capacity 94

| | |
|--|-----|
| <i>Polyanskov Y. V., Evseev A. N., Poroykov V. A.</i> Simulating sedimentation of lubricoolant sample using video data and regularities of impurity granulometric compound..... | 102 |
| <i>Levkina O. Y.</i> Information Technologies application for organization of engineering and design staging of casting production at an aircraft enterprise..... | 115 |
| <i>Mokrushin Y. A., Shamin V. Y.</i> Necessity of improving technological process planning in Machine building | 123 |

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.623; 004.75

С. В. Шибанов, А. А. Мезенков, О. А. Шевченко, А. С. Илюшкин

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АКТИВНЫХ ПАКЕТОВ ДЛЯ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ И КОНФИГУРИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрена концепция применения технологии активных пакетов для обмена информацией и конфигурирования распределенных приложений. Описаны внутренняя структура и средства управления активными пакетами. Предложена классификация активных пакетов.

Ключевые слова: распределенные приложения, активный пакет, классификация активных пакетов, среда исполнения активных пакетов, система хранения активных пакетов, конфигурирование, обмен данными.

S. V. Shibanov, A. A. Mezenkov, O. A. Shevchenko, A. S. Ilyushkin

ORGANIZATIONAL AND FUNCTIONAL PRINCIPLES OF ACTIVE PACKETS FOR INFORMATION EXCHANGE AND DISTRIBUTED APPLICATION CONFIGURATION

Abstract. The article considers a concept of usage of active packet technology for information exchange and configuration of distributed applications. The authors describe the internal structure and management of active packets. The work also suggests the classification of active packets.

Key words: distributed applications, active packet, classification of active packages, node execution environment of active packets, system storage of active packets, configuration, data communication.

Введение

Непрерывное совершенствование внутренних бизнес-процессов предприятий и организаций и постоянно изменяющиеся внешние условия ведения бизнеса приводят к необходимости регулярного обмена данными и модификации программного и информационного обеспечения корпоративных информационных систем, реализованных в виде распределенных приложений.

Распределенные приложения корпоративных информационных систем являются многопользовательскими приложениями, работающими на множестве компьютеров и обрабатывающими огромные объемы данных с распределением ресурсов по сети, а также с применением параллельных вычисле-

ний сложной логики [1]. Такие приложения очень часто функционируют на нескольких платформах и взаимодействуют со многими другими приложениями. Компьютерную сеть, в которой развернуты и эксплуатируются подсистемы и компоненты распределенных приложений, можно рассматривать в виде множества взаимодействующих вычислительных узлов, каждый из которых представляет собой отдельный компьютер или подсеть (например, локальная сеть филиала предприятия).

Распределенные информационные системы предприятия должны оперативно реагировать на изменения бизнеса, поддерживать на всех уровнях необходимые стратегии, процессы и правила управления. При этом приложения данного класса должны быть надежными и обеспечивать непрерывную работу, гибкое масштабирование, простоту сопровождения, администрирования и конфигурирования.

Для поддержания всех подсистем распределенных приложений в согласованном состоянии необходимо организовать распространение и развертывание обновлений всех видов информационных ресурсов и приложений в узлах сети (процесс тиражирования), а также сбор сведений с узлов сети, в которых развернуты распределенные приложения, для контроля и анализа результатов тиражирования (процесс синхронизации).

Основной задачей обмена информацией в распределенных приложениях является обеспечение достоверности, актуальности и согласованности информации. Конфигурирование программного обеспечения распределенных приложений заключается в настройке и модификации программного обеспечения на всех уровнях для приведения его в соответствие с изменяющимися требованиями [2]. Выделяются три основных критерия оценки эффективности информационного обмена и конфигурирования: скорость доставки информации от отправителя к получателю, надежность функционирования, а также удобство разработки и сопровождения программных средств, реализующих обмен информацией и конфигурирование приложений [3].

Актуальность задач обмена информацией и конфигурирования распределенных приложений обусловлена сложностью тиражирования и синхронизации данных, метаданных и приложений между подсистемами и компонентами, расположенными на разных уровнях организационной структуры компаний. Причины кроются в территориальной распределенности приложений, их информационной, аппаратной и программной гетерогенности [3].

Для решения задач обмена информацией и конфигурирования распределенных приложений авторами предлагается технология активных пакетов [4].

Понятие пакета лежит в основе большинства современных систем тиражирования и синхронизации информационных ресурсов. Так, с помощью специальных пакетов управления (Management Packs) осуществляется сбор и анализ данных в приложении System Center Operations Manager (SCOM), разработанном компанией Microsoft для управления и мониторинга ИТ-сервисов, приложений, серверов в гетерогенной среде Windows, UNIX и Linux [5]. Также из числа известных средств синхронизации и репликации стоит выделить Microsoft Sync Framework, а среди систем для распространения данных – системы управления пакетами различных Linux-дистрибутивов, например RPM и dpkg.

Во всех существующих коммерческих продуктах прохождением пакета по сети и получением от него необходимых сведений управляет программное обеспечение, расположенное в узлах распределенных приложений, которое также может модифицироваться и развиваться в процессе эксплуатации и сопровождения. Авторами предлагается рассматривать активный пакет в качестве субъекта управления, включающего не только информационную составляющую, но и программную реализацию алгоритмов управления обработкой информацией. При этом со стороны программного обеспечения распределенных приложений активному пакету должен предоставляться соответствующий интерфейс, который используется пакетом для осуществления своей деятельности по тиражированию, синхронизации данных, конфигурированию приложений, сбора и доставки системной информации о состоянии подсистем и компонент, а также обратной связи пользователей с разработчиками и администраторами.

1. Концепция активного пакета

Под активным пакетом будем понимать минимальную логическую единицу обмена информацией между узлами сети, которая инкапсулирует:

- данные и метаданные в виде набора каталогов и файлов различного формата, фрагментов баз данных, записей системного реестра и пр.;
- двоичные и текстовые информационные фрагменты;
- приложения в виде исполняемых файлов, динамически подключаемых библиотек, файлов настройки (ini-, xml-файлы) и пр., сгруппированных в различные подкаталоги;
- приложения, изменяющие поведение системы управления активными пакетами в узлах сети.

Обработка активных пакетов на узлах сети, в которой функционирует распределенное приложение, включает:

- разбор и анализ поступившего пакета;
- выделение доставленных данных, метаданных и приложений и их актуализацию;
- переадресацию пакета на другие узлы сети;
- отправку информационного пакета узлу-отправителю и пр. [6]

В самом простом случае задачей пакета является копирование собственного тела на локальную машину и передача его дальше по сети. Такое поведение заимствовано из концепции самовоспроизводящихся компьютерных программ типа «сетевой червь».

При формировании активного пакета ему присваиваются версия, в свою очередь каждая составляющая пакета также имеет свою версию. В случае изменения собственной структуры пакет должен увеличить версии подвергнутых воздействию своих компонентов. В целом алгоритм работы с версиями активных пакетов в предложенной технологии схож с подходом, применяемом в Microsoft Sync Framework в процессе синхронизации компонентов распределенного приложения.

Одновременно в сети не может существовать два активных пакета, имеющих одинаковые версии. Для этого каждому пакету назначается уникальный идентификатор (например, Globally Unique Identifier – GUID), определяющий текущую версию пакета, и отдельный идентификатор для определения семейства пакетов – группы пакетов в цепочке родитель-потомок.

Идентификатор группы может использоваться при распространении совместимых обновлений аналогично тому, как это реализовано в UpgradeCode в Windows Installer [7].

2. Внутренняя организация активного пакета

Активный пакет состоит из заголовка инициализации (Packet Header, PH) и локального репозитория для хранения информационного контента (Packet Local Repository, PLR) [4]. Обобщенная структура активного пакета представлена на рис. 1.

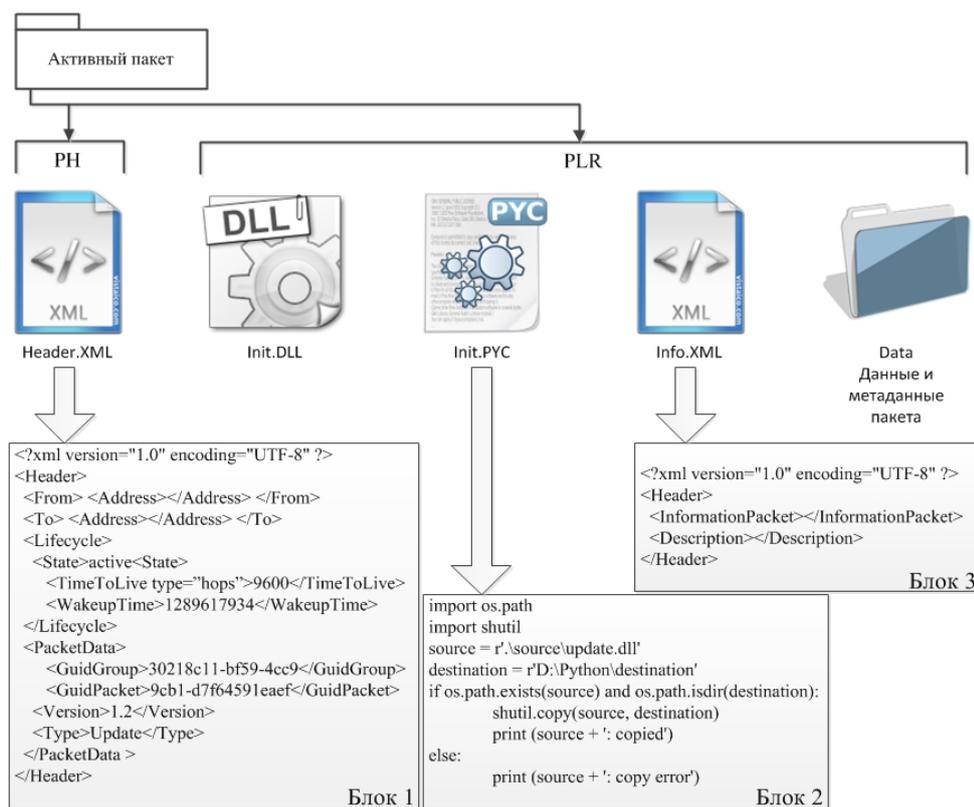


Рис. 1. Структура активного пакета

Заголовок инициализации (PH) используется для идентификации активного пакета системой управления активными пакетами, анализа содержимого пакета и запуска пакета на исполнение. Заголовок инициализации содержит файл-заголовок пакета в формате XML, имеющий строго определенное имя – `Header.xml`.

В табл. 1 представлены основные теги и разделы файла-заголовка. Пример содержимого файла-заголовка представлен на рис. 1 в блоке 1.

Модификация файла-заголовка осуществляется неявно через интерфейс управления пакетом. В дальнейшем в зависимости от конкретных требований, предъявляемых в той или иной системе, возможно добавление тегов, содержащих дополнительную информацию, контрольные суммы, вспомогательную информацию о версии пакета или идентификаторы групп пакетов.

Локальный репозиторий активного пакета (PLR) представляет собой иерархическое хранилище гетерогенной информации, включающее данные, метаданные и компоненты приложений, а также другие активные пакеты. Для уменьшения размера активного пакета при большом количестве дублирующей информации в PLR также используются внутренние перекрестные ссылки.

Таблица 1

Основные теги и разделы файла-заголовка активного пакета

| Тег/раздел файла заголовка | Назначение тега |
|----------------------------------|--|
| Header | Корневой тег заголовка пакета |
| Header/From | Группирующий тег, содержащий информацию об отправителе пакета |
| Header/From/Address | Адрес отправителя в формате APNA |
| Header/To | Группирующий тег, содержащий информацию о получателе пакета |
| Header/To/Address | Адрес получателя в формате APNA |
| Header/Lifecycle | Сведения о жизненном цикле пакета |
| Header/Lifecycle/State | Текущее состояние пакета. Доступные значения: активное (active), ожидание (waiting), пассивное (passive), «сон» (sleeping), «зомби» (zombie) |
| Header/Lifecycle/TimeToLive | Время «жизни» пакета. Используется при передаче по сети, а также во время нахождения пакета в активном состоянии для определения максимального времени выполнения пакета средой исполнения |
| Header/Lifecycle/TimeToLive:type | Тип значения времени «жизни» из набора: seconds – секунды, hops – «прыжки» (количество передач между отдельными узлами сети) |
| Header/Lifecycle/WakeupTime | Планируемое время пробуждения пакета при срабатывании планировщика. Временная метка в формате UNIX-времени |
| Header/PacketData | Сведения о пакете |
| Header/PacketData/GuidPacket | Уникальный идентификатор пакета |
| Header/PacketData/GuidGroup | Уникальный идентификатор группы пакетов |
| Header/PacketData/Version | Версия пакета |
| Header/PacketData/Type | Тип пакета |
| Header/Initiator | Группирующий тег, содержит информацию о файле-инициаторе |
| Header/Initiator:type | Типа файла инициатора из набора: text – файл-инициатор является текстовым скриптом, binary – файл-инициатор является двоичным файлом |
| Header/Initiator/Location | Абсолютный путь к инициатору внутри каталога Data PLR |

На внутреннюю структуру локального репозитория PLR накладываются ограничения, призванные предотвратить непредумышленное нарушение целостности активного пакета:

- в корне хранилища может существовать только один файл-заголовок;
- в корне хранилища может существовать только один каталог Data с данными, метаданными и приложениями.

В локальном репозитории активного пакета PLR также размещаются файлы Info.xml, Init.рус и Init.dll (см. рис. 1).

Файл Info.xml содержит краткое описание назначения пакета, пример которого представлен на рис. 1 в блоке 3.

Файл Init.рус хранит сценарий исполнения активного пакета в виде последовательности команд на языке программирования Python. Пример содержимого файла сценария представлен на рис. 1 в блоке 2.

Библиотека Init.dll играет роль файла запуска активного пакета для среды исполнения на узле распределенного приложения, выполняя последовательность действий, описанных в файле сценария Init.рус.

3. Классификация активных пакетов

Для систематизации активных пакетов, упорядочивания процесса обмена информацией и конфигурирования распределенных приложений, унификации алгоритмов обработки и программного обеспечения управления пакетами вводится классификация активных пакетов с учетом назначения активного пакета и основных операций, выполняемых пакетом.

Выделяются два основных класса активных пакетов – нетипизированные и типизированные (рис. 2).

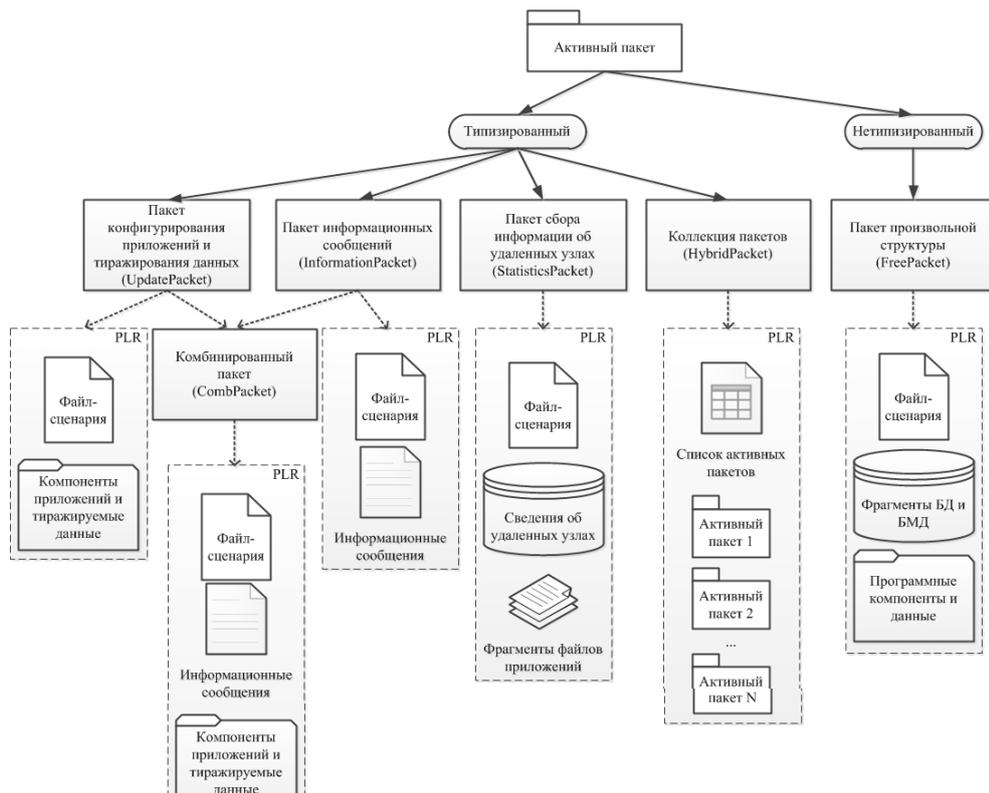


Рис. 2. Классификация активных пакетов

Класс типизированных активных пакетов включает в себя несколько типов активных пакетов, которые предназначены для реализации конкретных задач обмена информацией, мониторинга и конфигурирования приложений, обмена сообщениями и связи между пользователями, разработчиками и администраторами.

Активный пакет типа UpdatePacket предназначен для развертывания и сопровождения распределенных приложений. Данному виду пакета доступны следующие действия:

- копирование/замена файлов данных и приложений на узлах распределенных систем;
- синхронизация файлов данных и приложений на узлах распределенных систем, в ходе которой выполняется сравнение содержимого установленной и доставленной активным пакетом версий файлов и более поздняя версия копируется на узел;
- удаление/переименование файлов данных и приложений на удаленном узле;
- доставка и отображение информационного сообщения;
- исполнение программных скриптов, скриптов обновления баз данных и метаданных, командных файлов (например, bat-файла).

Для обмена информационными сообщениями в распределенных приложениях в классе типизированных активных пакетов выделен отдельный тип InformationPacket, который позволяет:

- обмениваться сообщениями между подсистемами и компонентами распределенного приложения, развернутыми на различных узлах;
- отправлять сообщения и/или отчеты от пользователей разработчикам и администраторам;
- осуществлять мониторинг процесса распространения активных пакетов по сети;
- контролировать внесение изменений в информационное и программное обеспечение, например, с целью исправления ошибок в работе приложений.

Кроме того, был введен комбинированный тип активных пакетов, объединяющий в себе пакеты типа UpdatePacket и InformationPacket.

Сбор информации о состоянии аппаратно-программного окружения и инфраструктуры распределенного приложения, о параметрах функционирования удаленных подсистем осуществляется активным пакетом типа StatisticsPacket. Активный пакет данного типа включает базу данных, содержащую собранные сведения от удаленных узлов, и файловое хранилище, содержащее фрагменты лог-файлов. Активному пакету типа StatisticsPacket доступны следующие операции на узле:

- поиск необходимой информации в рамках удаленного узла;
- запись в базу данных активного пакета параметров функционирования удаленного узла;
- копирование фрагментов лог-файлов в файловое хранилище активного пакета.

Активный пакет типа HybridPacket представляет собой коллекцию активных пакетов различных типов. Каждый активный пакет размещается в от-

дельной папке внутри пакета HybridPacket. При этом файл List_Packet.xml содержит список активных пакетов. Каждый активный пакет, входящий в коллекцию активных пакетов HybridPacket, исполняется на удаленном узле в соответствии с назначенным ему типом.

Для расширения функциональности активных пакетов, возможности их применения в сторонних приложениях вводится класс нетипизированных активных пакетов, который может содержать произвольные данные и программные компоненты. Заголовок инициализации (PH) нетипизированных активных пакетов содержит дополнительные теги Header/Initiator, Header/Initiator:type и Header/Initiator/Location, представленные в табл. 1. В нетипизированных активных пакетах можно создавать файл сценария в любом формате, что позволяет использовать активные пакеты для решения широкого круга задач, а не только обмена информацией и конфигурирования приложений.

4. Средства управления активными пакетами

Программные средства управления активными пакетами в узле распределенного приложения включают в себя среду исполнения активных пакетов (Node Execution Environment, NEE) и систему хранения активных пакетов (System Storage of Active Packets, SSAP) [8].

Среда исполнения активного пакета (NEE) включает набор интерфейсов для непосредственного исполнения поступившего пакета, передачи активного пакета на другие узлы, планирования поведения активного пакета, например, при повторном запуске пакета или в режиме ожидания поступления других пакетов. Система хранения активных пакетов (SSAP) обеспечивает хранение активных пакетов в интервалах между запусками.

Обмен пакетами может осуществляться только между узлами, имеющими соответствующие интерфейсы. В процессе обработки активного пакета узел предоставляет пакету свои вычислительные ресурсы. Активность со стороны узла проявляется только в момент получения нового активного пакета.

Процесс обмена активными пакетами между узлами распределенного приложения можно разделить на несколько этапов. **На первом этапе** (рис. 3) осуществляется подготовка активного пакета и его загрузка в среду исполнения узла-отправителя. На данном этапе выполняются следующие шаги:

- 1) создание активного пакета специальными средствами подготовки;
- 2) обращение к среде исполнения для загрузки активного пакета;
- 3) выборка средой исполнения узла-отправителя активного пакета в файловой системе;
- 4) загрузка активного пакета из потока в среду исполнения с помощью менеджера активных пакетов;
- 5) получение отчета о загрузке активного пакета в систему управления.

На втором этапе (рис. 4) происходит передача активного пакета на удаленный узел с участием среды исполнения и менеджера активных пакетов. Среда исполнения подготавливает активный пакет к отправке (шаг 1, рис. 4) и вызывает менеджера активных пакетов (шаг 2, рис. 4), который непосредственно осуществляет отправку пакета на удаленный узел (шаг 3–4, рис. 4).

На последнем шаге (шаг 5, рис. 4) происходит передача отчета о результатах отправки активного пакета в среду исполнения.

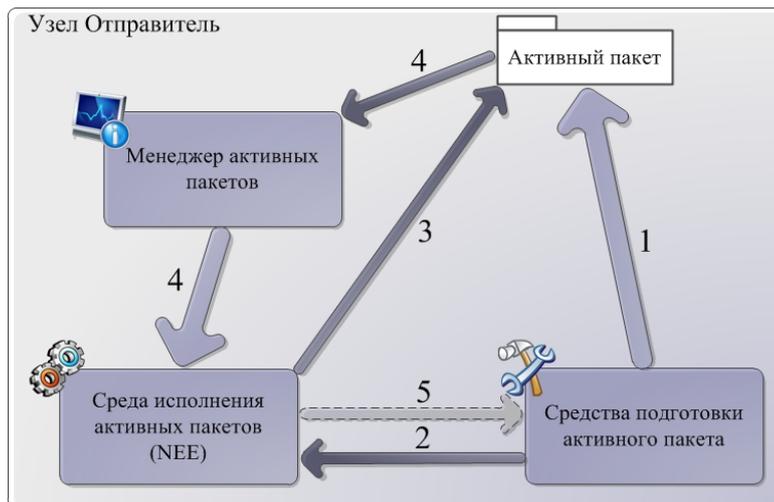


Рис. 3. Этап подготовки и загрузки активного пакета в среду исполнения

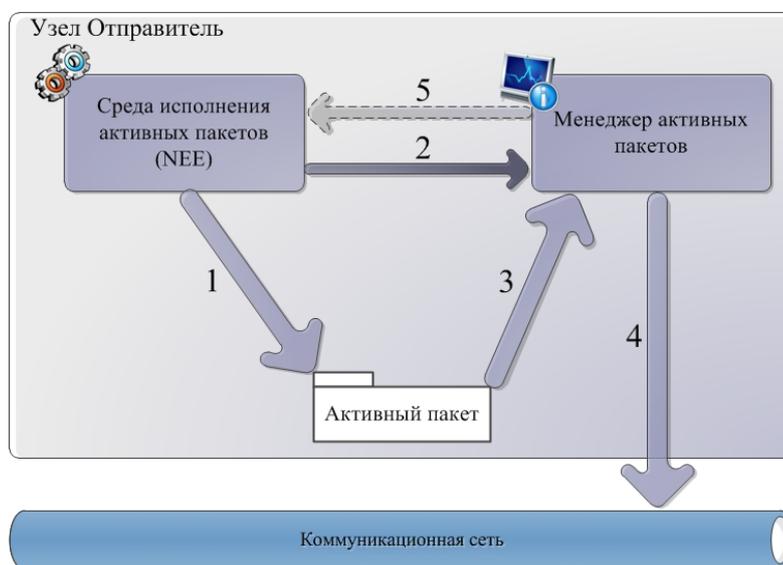


Рис. 4. Этап передачи активного пакета узлом-отправителем на удаленный узел

Третий этап (рис. 5) включает в себя процессы обработки полученного активного пакета на удаленном узле и состоит из нескольких шагов:

- 1) получение активного пакета и помещение его в файловое хранилище;
- 2) загрузка пакета в среду исполнения с помощью менеджера активных пакетов;
- 3) запуск активного пакета на исполнение вызовом метода Execute.

Запуск активного пакета на исполнение может осуществляться с помощью специального файла запуска. В качестве вариантов реализации файла запуска рассматривались исполняемый файл (exe-файл) и динамически подключаемая библиотека (dll-файл).

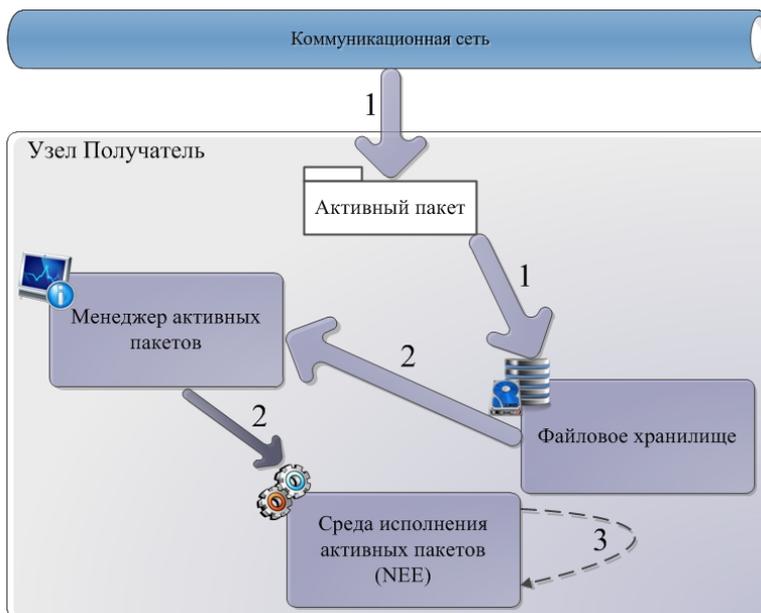


Рис. 5. Этап получения, обработки и запуска на исполнение активного пакета на узле-получателе

В случае использования в качестве файла запуска exe-файла активный пакет становится независимым от среды исполнения и может быть запущен самостоятельно в любое время. При этом несанкционированный запуск exe-файла может нарушить политику безопасности, поддерживаемую на узлах.

С целью повышения информационной безопасности был выбран формат реализации файла запуска активного пакета в виде динамически подключаемой библиотеки (dll-файл). Основной функцией данной библиотеки является проверка целостности активного пакета и правильности файла сценариев, а также запуск активного пакета на выполнение. При инициализации библиотеки можно передать копию объекта среды исполнения для доступа к ряду функций узла. В настоящее время файл запуска активного пакета реализован в виде динамически подключаемой библиотеки Init.dll, размещенной в локальном репозитории активного пакета PLR.

Программные интерфейсы (Application Programming Interface, API) среды исполнения предоставляют активному пакету лишь один метод Execute. В методе Execute среда исполнения считывает заголовок инициализации активного пакета, обращается с запросом к локальному репозиторию активного пакета (PLR) и передает на исполнение файл-сценария (Init.pyc). После этого пакет может управлять «своей жизнью» самостоятельно, планируя время своего следующего запуска средствами системы программирования расписаний API среды исполнения.

Четвертый этап (рис. 6) заключается в подготовке ответного пакета и отправке его на узел. В ходе этого выполняются следующие шаги:

- 1) создание ответного активного пакета специальными средствами подготовки активных пакетов;
- 2) обращение к среде исполнения для загрузки активного пакета;
- 3) поиск средой исполнения нового пакета в файловом хранилище;

- 4) отправка пакета с помощью менеджера активных пакетов;
- 5) получение отчета об отправке ответного активного пакета на узел Отправитель.

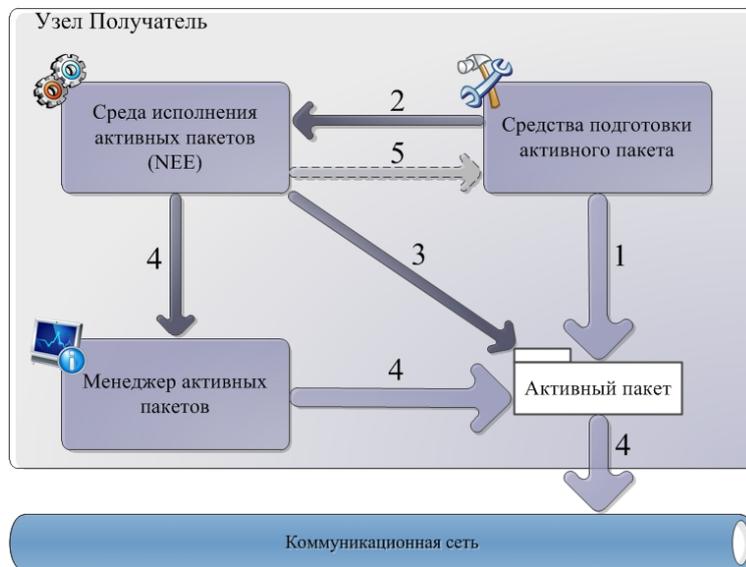


Рис. 6. Этап подготовки и отправки ответного активного пакета

Стоит отметить, что корректное функционирование предлагаемых средств управления активными пакетами без наложения каких-либо дополнительных ограничений на пакет возможно только в сети с высокой степенью доверия между узлами, так как выполняемые пакетом действия не должны нанести какой-либо вред. В настоящее время в большинстве случаев построение распределенной системы осуществляется на основе сети Интернет, где уровень доверия между узлами низкий. Поэтому для повышения безопасности возможно исполнение команд пакета в среде так называемой «песочницы» с ограниченным доступом к определенным ресурсам узла по аналогии с ограничениями на исполнение JavaScript в браузерах или скриптов на стороне HTTP-серверов [9].

Заключение

В статье исследуется задача обмена информацией и конфигурирования программного обеспечения распределенных приложений. Отмечаются проблемы обмена информацией и конфигурирования распределенных приложений, обусловленные сложностью тиражирования и синхронизации данных, метаданных и приложений между подсистемами и компонентами, расположенными на разных уровнях организационной структуры компаний, территориальной распределенностью приложений, их информационной, аппаратной и программной гетерогенностью.

Для решения задач обмена информацией и конфигурирования программного обеспечения распределенных приложений предлагается использовать активные пакеты, которые не только доставляют необходимую информацию на узлы распределенной системы, но являются полноправными субъек-

тами управления процессом обработки информации. Рассматриваются принципы организации и функционирования активных пакетов, обосновывается применение активных пакетов для решения задач информационного обмена и конфигурационного управления в распределенных приложениях, вводится классификация активных пакетов.

Активные пакеты и средства управления активными пакетами в узлах распределенной системы в виде среды исполнения активных пакетов (NEE) могут служить основой для построения программных средств обмена гетерогенной информацией и конфигурирования распределенных приложений на основе модульной архитектуры.

Список литературы

1. **Таненбаум, Э.** Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. Стен. – СПб. : Питер, 2003. – 877 с.
2. **Груневеген, Х.** Конфигурирование или адаптация? / Х. Груневеген // Открытые системы. – 2008. – № 6. – С. 37–41.
3. **Шибанов, С. В.** Активная система управления тиражированием и синхронизацией метаданных в корпоративных информационных системах / С. В. Шибанов, О. А. Шевченко, А. С. Илюшкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 1. – С. 25–35.
4. **Шибанов, С. В.** Конфигурирование и адаптация приложений распределенных информационных систем на основе технологии активных пакетов / С. В. Шибанов, А. А. Мезенков, О. А. Шевченко, А. С. Илюшкин // Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений : тр. Междунар. суперкомпьютерной конф. – М. : Изд-во МГУ, 2012. – С. 562–569.
5. **Brad Price.** Mastering System Center Operations Manager 2007 / Brad Price, John Paul Mueller, Scott Fenstermacher. – Published by Wiley Publishing, 2007. – 432 p.
6. **Илюшкин, А. С.** Концепция активного пакета для распространения данных в распределенных системах / А. С. Илюшкин, С. В. Шибанов, О. А. Шевченко // Технологии Microsoft в теории и практике программирования : материалы конф. – Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. – С. 158–160.
7. **Kshemkalyani, A. D.** Distributed Computing. Principles, Algorithms, and Systems / A. D. Kshemkalyani, M. Sigal. – Cambridge : Cambridge University Press, 2008. – 756 p.
8. **Илюшкин, А. С.** Система исполнения активного пакета в узлах распределенной системы / А. С. Илюшкин, С. В. Шибанов, О. А. Шевченко // Технологии Microsoft в теории и практике программирования : материалы конф. – Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. – С. 165–167.
9. **Норткатт, С.** Защита сетевого периметра / С. Норткатт, К. Фредерик, Р. В. Ричи и др. – СПб. : ТИД «ДС», 2004. – 672 с.

References

1. **Tanenbaum, E.** Raspredelnyye sistemy. Printsipy i paradigmy / E. Tanenbaum, M. Sten. – SPb. : Piter, 2003. – 877 s.
2. **Grunevegen, KH.** Konfigurirovaniye ili adaptatsiya? / KH. Grunevegen // Otkrytyye sistemy. – 2008. – № 6. – S. 37–41.
3. **Shibanov, S. V.** Aktivnaya sistema upravleniya tirazhirovaniyem i sinkhronizatsiyey metadannykh v korporativnykh informatsionnykh sistemakh / S. V. Shibanov, O. A. Shevchenko, A. S. Ilyushkin // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskkiye nauki. – 2010. – № 1. – S. 25–35.

4. **Shibanov, S. V.** Konfigurirovaniye i adaptatsiya prilozheniy raspredelennykh informatsionnykh sistem na osnove tekhnologii aktivnykh paketov / S. V. Shibanov, A. A. Mezenkov, O. A. Shevchenko, A. S. Ilyushkin // Nauchnyy servis v seti Internet: poisk novykh resheniy : tr. Mezhdunar. superkomp'yuternoy konf. – M. : Izd-vo MGU, 2012. – S. 562–569.
5. **Brad Price.** Mastering System Center Operations Manager 2007 / Brad Price, John Paul Mueller, Scott Fenstermacher. – Published by Wiley Publishing, 2007. – 432 p.
6. **Ilyushkin, A. S.** Kontseptsiya aktivnogo paketa dlya rasprostraneniya dannykh v raspredelennykh sistemakh / A. S. Ilyushkin, S. V. Shibanov, O. A. Shevchenko // Tekhnologii Microsoft v teorii i praktike programmirovaniya : materialy konf. – N. Novgorod : Izd-vo NNGU, 2010. – S. 158–160.
7. **Kshemkalyani, A. D.** Distributed Computing. Principles, Algorithms, and Systems / A. D. Kshemkalyani, M. Sigal. – Cambridge : Cambridge University Press, 2008. – 756 p.
8. **Ilyushkin, A. S.** Sistema ispolneniya aktivnogo paketa v uzлах raspredelen-noy sistemy / A. S. Ilyushkin, S. V. Shibanov, O. A. Shevchenko // Tekhnologii Microsoft v teorii i praktike programmirovaniya : materialy konf. – N. Novgorod : Izd-vo NNGU, 2010. – S. 165–167.
9. **Nortkatt, S.** Zashchita setevogo perimetra / S. Nortkatt, K. Frederik, R. V. Richi i dr. – SPb. : TID «DS», 2004. – 672 s.

Шибанов Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра математического обеспечения
и применения ЭВМ, Пензенский
государственный университет
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: serega@pnzgu.ru

Shibanov Sergey Vladimirovich

Candidate of engineering sciences,
associate professor, sub-department
of software and computer application,
Penza State University
(Penza, 40 Krasnaya str.)

Мезенков Антон Александрович

аспирант, Пензенский
государственный университет
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: 5114@bk.ru

Mezenkov Anton Alexandrovich

Postgraduate student,
Penza State University
(Penza, 40 Krasnaya str.)

Шевченко Ольга Анатольевна

соискатель, кафедра математического
обеспечения и применения ЭВМ,
Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: shevka_oa@mail.ru

Shevchenko Olga Anatolyevna

Applicant, sub-department of software
and computer application,
Penza State University
(Penza, 40 Krasnaya str.)

Илюшкин Алексей Сергеевич

аспирант, Пензенский
государственный университет
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: alexey.ilyushkin@gmail.com

Ilyushkin Aleksey Sergeevich

Postgraduate student,
Penza State University
(Penza, 40 Krasnaya str.)

УДК 004.623; 004.75

Шибанов, С. В.

Принципы организации и функционирования активных пакетов для обмена информацией и конфигурирования распределенных приложений / С. В. Шибанов, А. А. Мезенков, О. А. Шевченко, А. С. Илюшкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 5–18.

Т. Д. Козлова, А. А. Игнат'ев

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИН ОТКАЗОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СТАНОЧНЫХ МОДУЛЕЙ

Аннотация. Рассматривается экспертная система поддержки принятия решений для определения причин отказов автоматизированных станочных модулей, формирующая рекомендации наладчикам по устранению дефектов технологического оборудования.

Ключевые слова: экспертная система, автоматизированный станочный модуль, база знаний, режим работы, отказ, способ устранения.

T. D. Kozlova, A. A. Ignat'ev

EXPERT DECISION MAKING SUPPORT SYSTEM DETERMINING THE CAUSES OF AUTOMATED MACHINE MODULE FAILURES

Abstract. The article considers an expert decision support system for the determination of the causes of automated machine tool module failures, forming troubleshooting recommendations for the equipment adjusters.

Key words: expert system, automated machine tool module, knowledge base, operation, failure, corrective action.

Введение

Экспертные системы поддержки принятия решений (ЭСППР) направлены на оказание помощи при принятии решений по оценке качества продукции и выбора режима обработки [1]. В области машиностроения данные системы нашли применение для принятия технологических решений [2, 3].

Разрабатываемая ЭСПР позволяет определять не только причину ухудшения качества изготавливаемой продукции, но и причины отказов основных элементов автоматизированного станочного модуля (АСМ). При возникновении отказов АСМ экспертная система реализует поддержку наладчика технологического оборудования при локализации отказа и принятии решений о способе устранения данного отказа. Экспертная система является частью системы мониторинга технологического процесса (СМТП), структура которой представлена на рис. 1. Данная система включает подсистемы, обеспечивающие контроль технического состояния узлов АСМ, контроль параметров технологического процесса (скорость вращения шпинделей; контроль: величины и подачи круга, потребляемой мощности двигателем шпинделя и подачи смазочно-охлаждающей жидкости, положения щупа, положения резцедержки, загрузки и выгрузки патрона, крайнего положения суппорта по X и Z, поворота магазина манипулятора), контроль качества деталей (геометрические параметры точности заготовок и деталей). Данные подсистемы формируют базу данных текущего состояния АСМ. Каждому отказу АСМ соответствует свой код ошибки, формируемый ЭВМ модуля, который является входной информацией для базы данных (БД) отказов.

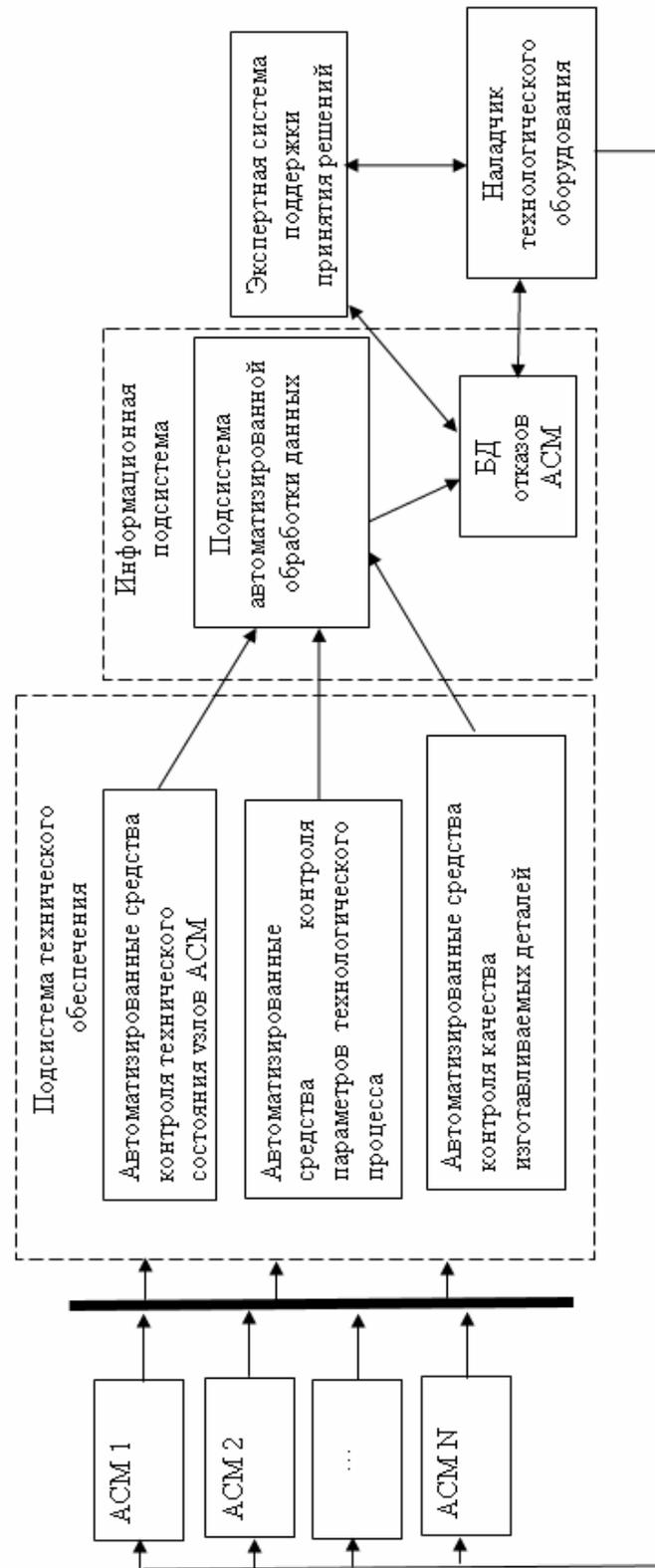


Рис. 1. Экспертная система как составляющая системы мониторинга АСМ

Код ошибки высвечивается на цифровом дисплее АСМ. База данных представляет собой совокупность связанных данных об отказах АСМ.

База знаний экспертной системы содержит данные об отказах АСМ и способах их устранения, которые получены в результате длительных экспериментальных исследований в условиях производства [4], а также правила обработки этих данных.

1. Структура автоматизированного станочного модуля

Иерархическая структура АСМ ТПАРМ (токарный прецизионный автоматизированный роботизированный модуль) представляет собой совокупность основных функциональных подсистем, состоящей из блоков, осуществляющих процесс функционирования модуля и связей между ними в соответствии с рис. 2 [5].

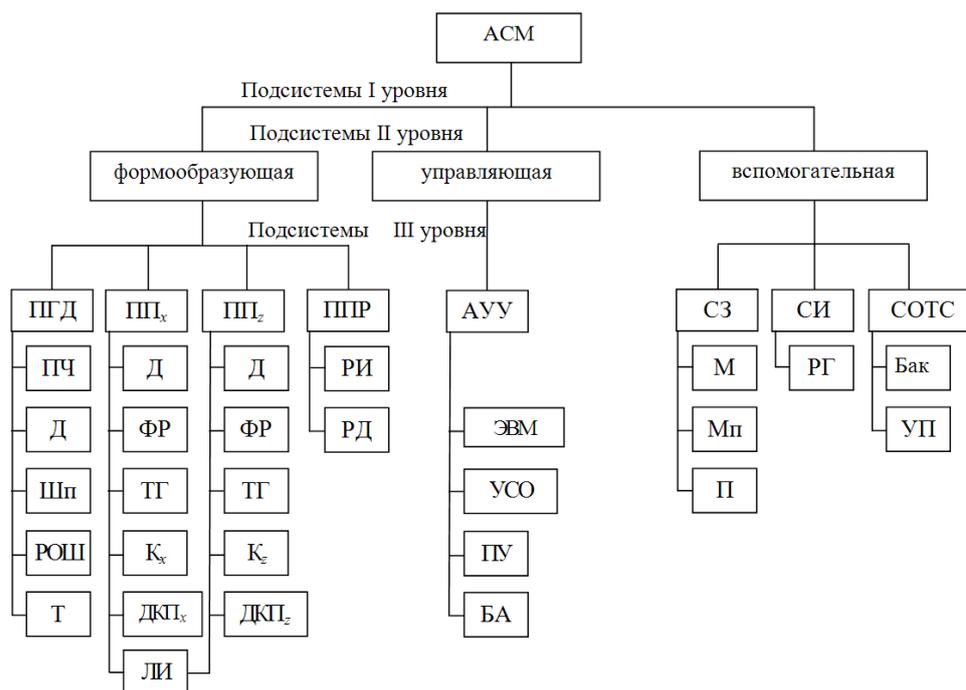


Рис. 2. Иерархическая структура АСМ: ПГД – привод главного движения; ПП_х – привод поперечных перемещений; ПП_z – привод продольных перемещений; ППР – привод подачи резца; ПЧ – преобразователь частоты; Д – двигатель; РИ – режущий инструмент, ФР – фрикционный редуктор; РД – резцедержка; Шп – шпиндель; ТГ – тахогенератор; РОШ – реле оптического шпинделя; К_х, К_z – каретки по осям *x* и *z*; Т – тормоз; ДКП_х, ДКП_z – датчики крайнего положения по осям *x* и *z*; ЛИ – лазерный интерферометр; АУУ – автоматическое управляющее устройство; УСО – устройство сопряжения; ПУ – пульт управления; БА – блок автоматики; СЗ – подсистема смены заготовки; СИ – подсистема смены инструмента; СОТС – подсистема смены смазочно-охлаждающим технологическим средством; М – магазин заготовок; РГ – револьверная головка; Бак – бак с СОТС; Мп – манипулятор; УП – устройство подачи СОТС в зону резания; П – патрон

В любой из представленных подсистем в процессе функционирования может произойти технологический отказ.

База знаний экспертной системы содержит правила, описывающие состояние формообразующей, управляющей и вспомогательной подсистем АСМ. Предметная область разрабатываемой экспертной системы (ЭС) представлена в виде производственной модели. Производственная модель, или модель, основанная на правилах, позволяет представить знания в виде предложений типа «Если (условие)», «то (действие)».

В данной ЭС условием выступает отказ элемента одной из подсистем АСМ, в качестве действия используется способ устранения неисправности [6].

2. Принцип работы экспертной системы поддержки принятия решений при диагностировании неисправностей АСМ

В качестве среды построения ЭСППР выбран язык программирования высокого уровня Delphi7. Экспертная система предназначена для пользователей двух типов: наладчиков технологического оборудования и операторов АСМ. Для пользователей первого типа предусмотрены четыре режима работы: «Устранение отказа», «Качество технологического процесса», «Устранение отказа по коду ошибки», «Работа с базой данных отказов». Для пользователей второго типа предусмотрены два режима работы: «Устранение отказа», «Качество технологического процесса». В режиме «Устранение отказа» система выдает рекомендации по способам устранения отказов элементов АСМ. Пользователю предлагается выбрать отказавший элемент в соответствии с окном программы, представленным на рис. 3; предполагаемый отказ – в соответствии с окном программы, представленным на рис. 4.

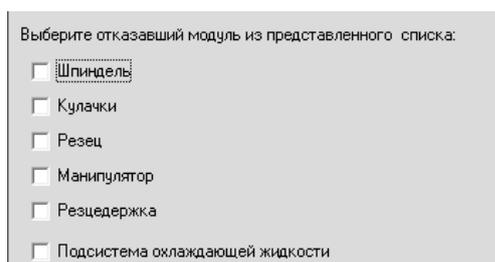


Рис. 3. Окно выбора отказавшего модуля

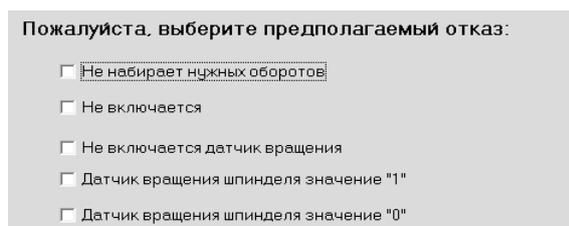


Рис. 4. Окно выбора предполагаемого отказа

Например, для отказа шпинделя «Не набирает нужных оборотов» ЭСППР выдает рекомендацию «Необходимо отрегулировать скорость» в соответствии с окном программы, представленным на рис. 5.

В режиме «Качество технологического процесса» система определяет причины ухудшения качества изготавливаемых деталей. Например, если раз-

меры детали не выдерживаются при обработке, ЭС выдаст рекомендацию «Необходимо проверить позиционирование суппорта и отрегулировать усилие зажатия заготовки в патроне» в соответствии с окном программы, представленным на рис. 6.

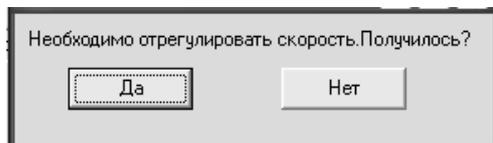


Рис. 5. Рекомендация экспертной системы

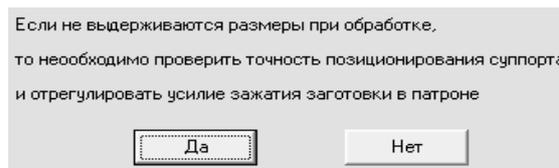


Рис. 6. Рекомендация экспертной системы

В режиме «Устранение неисправности по коду ошибки» система определяет причину отказа путем ввода кода ошибки в соответствии с окном программы, представленным на рис. 7.

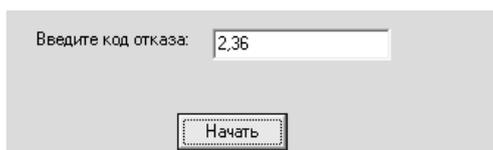


Рис. 7. Окно для ввода кода ошибки

В режиме «Работа с базой данных отказов» реализован доступ к внешней базе данных (БД) отказов АСМ типа ТПАРМ. База данных разработана в СУБД Access 2007. Схема БД представлена на рис. 8. При необходимости БД может обновляться и дополняться пользователем без привлечения программиста. Данная функция реализована при помощи формы доступа к таблице отказов и способов их устранения. Форма доступа позволяет просматривать имеющиеся данные об отказах и при необходимости добавлять новые. С целью обеспечения безопасности базы данных записи в форме предусмотрены только для чтения.

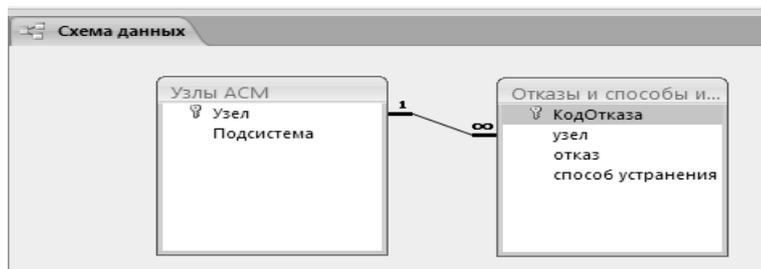


Рис. 8. Схема базы данных отказов в СУБД Access 2007

В ЭС реализована возможность просмотра диалога пользователя с ЭС. Диалог формируется в виде текстового документа и может быть открыт при помощи любого текстового редактора.

Заключение

В данной работе рассмотрена экспертная система поддержки принятия решений, которая позволяет выявлять причины неисправностей основных элементов АСМ типа ТПАРМ. Использование экспертной системы поддержки принятия решений позволит выявить причины отказов основных элементов автоматизированного станочного модуля ТПАРМ-100 в автоматизированном режиме, спрогнозировать ремонтно-профилактические работы, снизить уровень затрат на ремонтные работы, снизить время диагностирования, повысить качество изготавливаемой продукции, уменьшить эксплуатационные затраты для обеспечения заданных показателей надежности и качества функционирования.

Список литературы

1. **Мелихов, А. Н.** Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Берштейн, С. Я. Коровин. – М. : Наука, 1990. – 272 с.
2. **Юркевич, В. В.** Экспертная система для токарной обработки / В. В. Юркевич // Вестник машиностроения. – 2010. – № 6. – С. 73–75.
3. **Петрухин, А. В.** Принятие технологических решений в литейном производстве с использованием интегрированной экспертной системы / А. В. Петрухин, В. К. Агеев, Ю. Ф. Воронин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2004. – № 5. – С. 64–65.
4. **Бржозовский, Б. М.** Надежность и диагностика технологических систем / Б. М. Бржозовский, А. А. Игнат'ев, В. В. Мартынов, А. Г. Схиртладзе. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2006. – 307 с.
5. **Бржозовский Б. М.** Обеспечение устойчивого функционирования прецизионных станочных модулей / Б. М. Бржозовский, А. А. Игнат'ев, В. В. Мартынов. – Саратов : Изд-во СГТУ, 1990. – 120 с.
6. **Козлова, Т. Д.** Экспертная система для определения причин неисправностей технологических систем / Т. Д. Козлова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – № 2 (56), № 2. – С. 219–224.

References

1. **Melikhov, A. N.** Situatsionnyye sovetuyushchiye sistemy s nechetkoy logikoy / A. N. Melikhov, L. S. Bershteyn, S. YA. Korovin. – M. : Nauka, 1990. – 272 s.
2. **Yurkevich, V. V.** Ekspertnaya sistema dlya tokarnoy obrabotki / V. V. Yurkevich // Vestnik mashinostroyeniya. – 2010. – № 6. – S. 73–75.
3. **Petrukhin, A. V.** Prinyatiye tekhnologicheskikh resheniy v liteynom proizvodstve s ispol'zovaniyem integrirovannoy ekspertnoy sistemy / A. V. Petrukhin, V. K. Ageyev, YU. F. Voronin // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2004. – № 5. – S. 64–65.
4. **Brzhovovskiy, B. M.** Nadezhnost' i diagnostika tekhnologicheskikh sistem / B. M. Brzhovovskiy, A. A. Ignat'yev, V. V. Martynov, A. G. Skhirtladze. – Saratov : Izd-vo SGTU, 2006. – 307 s.
5. **Brzhovovskiy B. M.** Obespecheniye ustoychivogo funktsionirovaniya pretsizionnykh stanochnykh moduley / B. M. Brzhovovskiy, A. A. Ignat'yev, V. V. Martynov. – Saratov : Izd-vo SGTU, 1990. – 120 s.

6. **Kozlova, T. D.** Ekspertnaya sistema dlya opredeleniya prichin neispravnostey tekhnologicheskikh sistem / T. D. Kozlova // Vestnik Saratovskogo gosudarstvenno-go tekhnicheskogo universiteta. – 2011. – № 2 (56), № 2. – S. 219–224.
-

Козлова Татьяна Дмитриевна

ассистент, кафедра управления и информатики в технических системах, Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал), Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина (г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

E-mail: evtushevskaya.ta@mail.ru

Kozlova Tatyana Dmitrievna

Assistant, sub-department of technical systems control and informatics, Balakovo Institute of engineering, technology and control (branch), Saratov State Technical University named after Y. A. Gagarin (Saratov, 77 Politechnicheskaya str.)

Игнатъев Александр Анатольевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов, Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина (г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

E-mail: atp@sstu.ru

Ignat'ev Alexander Anatolyevich

Doctor of engineering sciences, professor, head of sub-department of technological processes automation, Saratov State Technical University named after Y.A. Gagarin (Saratov, 77 Politechnicheskaya str.)

УДК 004.891

Шибанов, С. В.

Экспертная система поддержки принятия решений для определения причин отказов автоматизированных станочных модулей / Т. Д. Козлова, А. А. Игнатъев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 19–25.

Е. М. Подмарькова

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ДЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ

Аннотация. Представлены результаты исследований работы информационно-аналитической системы реструктуризации административно-территориального деления на примере Пензенской области. В качестве результатов работы системы приведены различные варианты объединения районов области. Сформулированы критерии сравнения различных вариантов реструктуризации с точки зрения эффективности социально-экономических показателей укрупненных районов.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, административно-территориальная реструктуризация, алгоритмы территориальной реструктуризации, интегральный показатель социально-экономической эффективности, теория графов, когнитивные карты.

Е. М. Podmar'kova

APPLICATION OF INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM OF REGIONAL ADMINISTRATIVE AND TERRITORIAL DIVISION RESTRUCTURING

Abstract. The article describes the results of research of the information-analytical system for restructuring an administrative division by the example of the Penza region. As a result of system functioning the researcher introduces various districts unions. The study suggests criteria for comparing different restructuring variants in terms of effectiveness of social and economic indicators for consolidated areas.

Key words: information analysis system, restructuring of the regions, territorial restructuring algorithms, integrated efficiency indicator, index of human potential, graph theory, cognitive maps.

Введение

На протяжении нескольких лет автором разрабатывалась автоматизированная информационно-аналитическая система реструктуризации регионов (АИС РР). В результате проделанной работы создан программный продукт [1], который интегрирует несколько программных модулей. Эти модули обеспечивают информационно-аналитическую поддержку лицам, принимающим решения, при проведении реструктуризации административно-территориального деления (АТД) районов, а также позволяют производить численную оценку социально-экономической эффективности различных вариантов реструктуризации (например, укрупнения районов) с возможностью наглядного картографического представления полученных результатов. На примере АТД Пензенской области в статье демонстрируются несколько вариантов реструктуризации с целью оптимизации ряда социально-экономических показателей областных районов.

Алгоритмы реструктуризации административно-территориального деления

Математическое обеспечение системы включает последовательные и итерационные алгоритмы реструктуризации. В работе [2] представлена математическая модель, основывающаяся на использовании аппарата когнитивных карт, и сформулирована задача реструктуризации административно-территориального деления регионов. При создании системы были разработаны и реализованы последовательные и итерационные алгоритмы [3], перечисленные ниже. Исходными данными для всех алгоритмов служит графовая модель области, использующая матрицу расстояний по дорогам между отдельными населенными пунктами, социально-экономические показатели районов, данные о протяженности границ и смежности отдельных районов. На выходе алгоритмов формируется список укрупненных групп районов [4, 5].

1. Алгоритм на основе разности вычисляет меру сходства между отдельным районом и эталоном, являющимся усреднением всех районов по характеризующим их показателям. В результате чего получается некая числовая характеристика. Для объединения районов на каждом шаге работы алгоритма выбираются те два района, разность значений которых максимальна.

2. Алгоритм на основе числа связей вычисляет локальную степень каждой вершины-района в графе дорог. Для объединения выбираются те два района, сумма числа связей которых минимальна. Тем самым мы добиваемся того, что первыми объединяются районы, располагающиеся на периферии области, поскольку центральные районы имеют большее количество связей.

3. Алгоритм на основе двудольного графа Кенига – посредством данного алгоритма все множество районов делится на две части – имеющие сходство с эталоном выше и ниже среднего соответственно. Для объединения выбираются те вершины, которые располагаются в разных подграфах и сумма локальных степеней которых минимальна.

4. Алгоритм на основе кластеризации по своей сути близок к предыдущему алгоритму, но все множество вершин делится не на две части, а на несколько частей. В разработанной системе использовались алгоритмы кластеризации на основе методов Data Mining. Например, в результате кластерного анализа все районы делятся на благополучные, отстающие и перспективные с точки зрения уровня жизни населения [6]. Для объединения выбираются районы, расположенные в максимально удаленных кластерах. Иными словами, приоритет будет у благополучных и отстающих районов, затем у благополучных и перспективных, затем отстающих и перспективных и только в последнюю очередь объединяются районы из одного кластера.

5. Алгоритм на основе формул индекса развития человеческого потенциала (ИРЧП) производит ранжирование районов по значению ИРЧП, представляющего собой интегральную характеристику района, состоящую из трех наиболее наглядных индикаторов уровня жизни: индекса ожидаемой продолжительности жизни при рождении, индекса уровня образования населения и индекса реального среднедушевого ВВП, рассчитанного с учетом паритета покупательской способности. В первую очередь объединяются те районы, у которых разница индексов ИРЧП максимальна и которые, естественно, имеют общие географические границы.

6. Итерационный алгоритм – входными данными для его выполнения служат результаты укрупнения, полученные при использовании последовательного алгоритма. На каждом шаге итерационного алгоритма выполняется попытка улучшить существующее разбиение районов путем исключения отдельного района из одной группы и добавления его в другую группу. Выполнение работы алгоритма завершается, когда на очередном шаге обнаруживается отсутствие возможности для улучшения.

Применение разработанной системы

Перечисленные алгоритмы, составляющие основу информационно-аналитической системы, проходили апробацию на примере решения задачи укрупнения районов Пензенской области (всего 27 районов). Входными данными для проведения реструктуризации служила сводная статистическая отчетность (Федеральной службы государственной статистики) по основным социально-экономическим показателям, взятым по всем районам области [7]. Эта информация собирается сотрудниками отдела информатизации администрации области в единую базу данных, для того чтобы эта информация могла быть в дальнейшем использована в качестве входных данных для алгоритмов укрупнения.

Основное окно программного модуля, реализующего алгоритм укрупнения, представлено на рис. 1. При работе с системой лицо, принимающему решения, предоставляется следующая информация:

- интегральный показатель эффективности текущего объединения;
- максимальный размер района после объединения, который определяется географической протяженностью наибольшего из получившихся после объединения районов. По значению данного показателя лицо, принимающее решения, определяет, продолжать объединение или остановиться на достигнутом результате;
- число районов;
- графовая модель районов, в которой вершины соответствуют отдельным районам, а связи – наличию общих границ и дорог между соответствующими районами;
- отчет – данная возможность реализована для сохранения текущего разбиения области на районы с целью его последующего анализа.

Интегральный показатель социально-экономической эффективности для каждого варианта объединения районов рассчитывается по следующей формуле:

$$Z = \sum_{i=1}^N K_i P_i, \quad (1)$$

где Z – социально-экономическая эффективность; K_i – экспертные коэффициенты, определяющие вклад каждого частного показателя в интегральный показатель Z ; N – количество частных показателей; P_i – отдельные показатели социально-экономической эффективности.

В число таких показателей, как правило, входят:

- показатель, отвечающий за максимум профицита для объединенных районов;

- показатель, отвечающий за равномерную численность районов в каждой группе;
- показатель, отвечающий за равномерную численность населения в каждой группе;
- показатель, отвечающий за компактность получающихся групп, чтобы районы объединялись максимально компактно, а не вытягивались в цепочку по всей области.

На рис. 1 показан пример результата реструктуризации в графовом виде с использованием одного из последовательных алгоритмов. Для удобства визуализации числа показывают порядковые номера, присвоенные отдельным районам. Например, запись «25+17» показывает, что в ходе работы алгоритма Спасский район (25) был объединен с Наровчатским (17). При необходимости пользователь может переключить числовые представления в обычные текстовые названия районов.

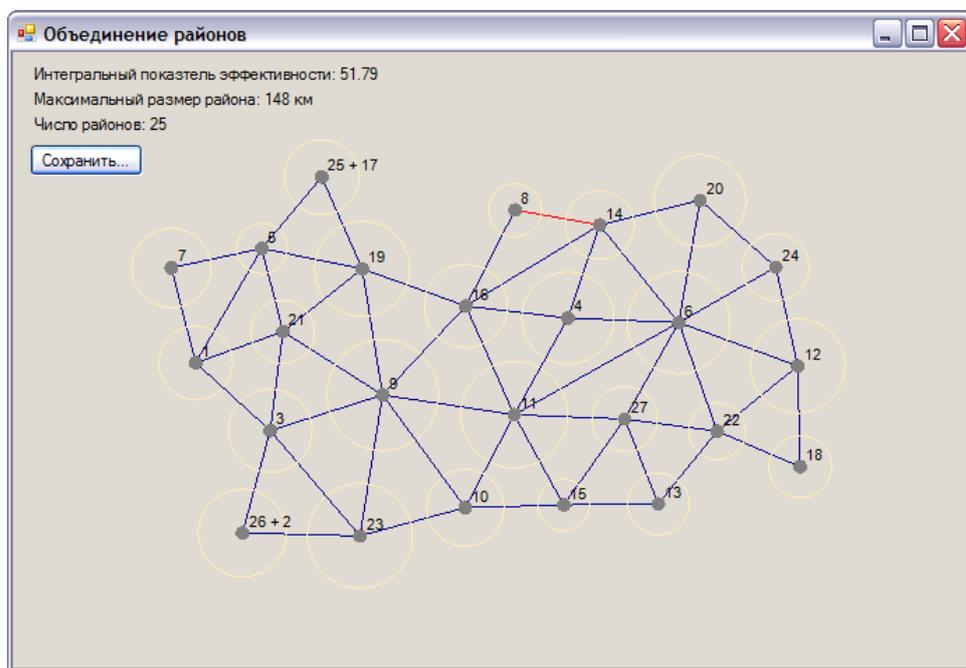


Рис. 1. Окно программного модуля реализации алгоритмов реструктуризации

На следующем шаге работы системы лицу, принимающему решения, предоставляется возможность улучшить результаты, представленные последовательным алгоритмом, применив итерационный алгоритм.

Помимо графового представления имеется возможность просмотра результатов объединения на цифровой карте в интерактивном режиме (рис. 2). Представленная на рисунке карта наглядно показывает, какие районы были объединены. Они отображаются одним цветом (в случае черно-белого представления – одним видом штриховки). В результате чего лицо, принимающее решения, может в режиме реального времени наблюдать за ходом выполнения алгоритма и при необходимости корректировать его.

Разработанная система предусматривает возможность анализа вариантов реструктуризации районов области, задаваемых пользователем в ручном

интерактивном режиме. При этом происходит расчет социально-экономической эффективности текущих вариантов ручной реструктуризации, значение которого выводится в нижней части экрана (рис. 3).

После того как пользователь выполнил операцию объединения, имеется возможность просмотра полученного результата в целом на цифровой картографической основе (рис. 4). Затем можно сохранить полученное объединение в файл и анализировать его наравне с другими файлами, сформированными в автоматическом режиме.

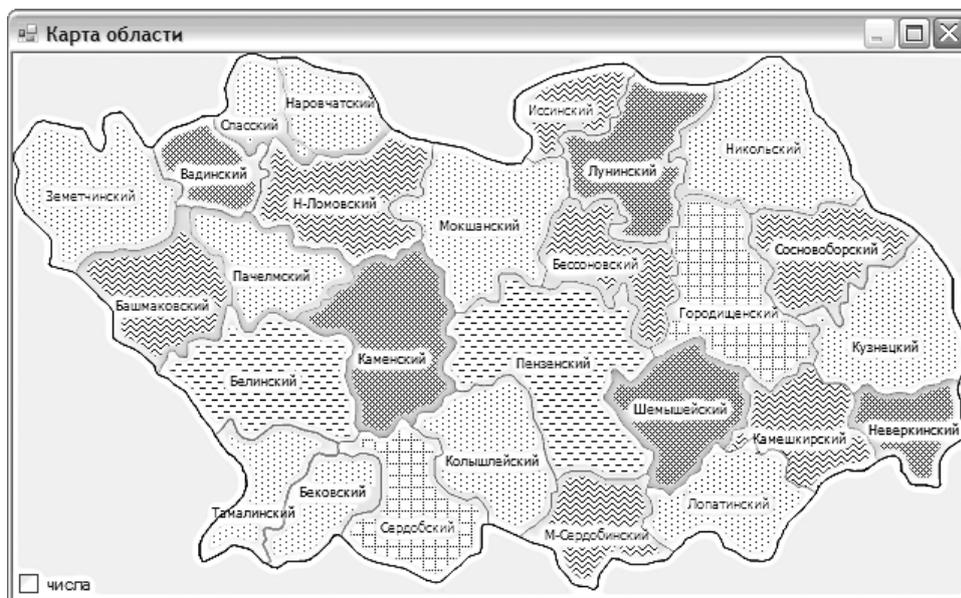


Рис. 2. Пример отображения результатов реструктуризации на цифровой картографической основе

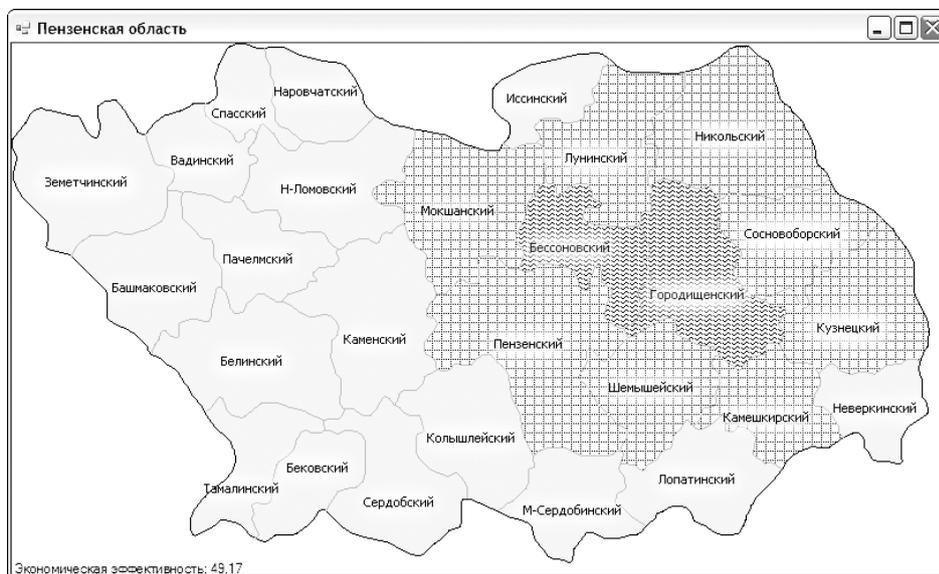


Рис. 3. Главное окно подсистемы ручной объединения регионов

Один из модулей разработанной системы позволяет сравнивать между собой различные варианты реструктуризации региона. Для облегчения решения задачи выбора одного из вариантов в левом верхнем углу каждой карты выводится информация о степени оптимальности данного варианта реструктуризации, которая рассчитывается как интегральный показатель социально-экономической эффективности (рис. 5).

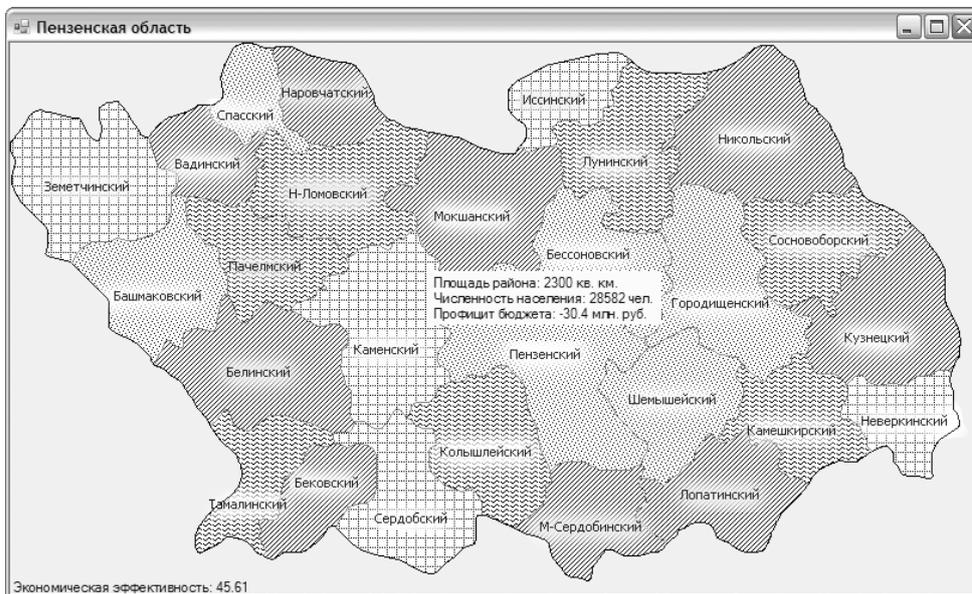


Рис. 4. Результат работы подсистемы ручного объединения

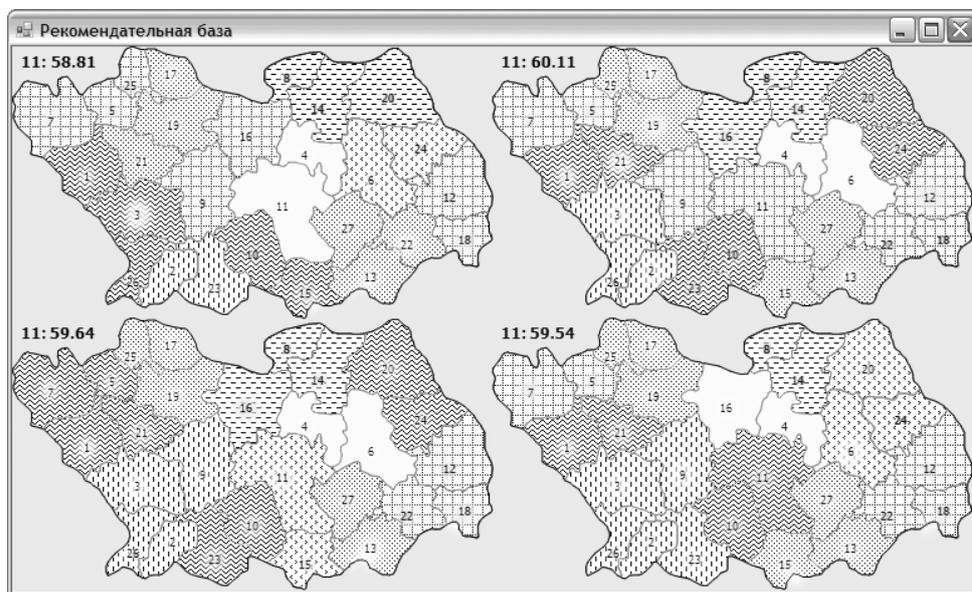


Рис. 5. Основное окно модуля сравнения вариантов реструктуризации

Общая структура системы представлена на рис. 6, в ней различные варианты объединения районов характеризуются двумя числами – первое пока-

зывает количество районов после объединения, а второе – рассчитанный индекс социально-экономической эффективности.

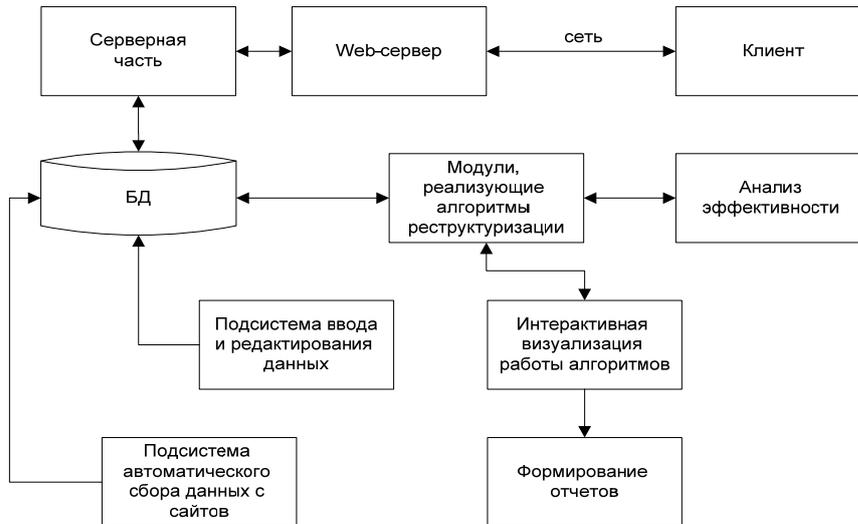


Рис. 6. Общая структура системы

Заключение

Опытная эксплуатация разработанной системы поддержки принятия решений заключалась в исследовании эффективности работы различных алгоритмов укрупнения районов. Для сравнения приведем табл. 1, содержащую полученные нормированные значения социально-экономической эффективности для различных вариантов объединения. Наилучшее значение в идеальном случае составляет 100 единиц, таким образом, чем больше данное значение, тем лучше.

Таблица 1
Результаты сравнения работы алгоритмов укрупнения

| Наименование алгоритма | Варианты АТД | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Разбиение на 10 районов | Разбиение на 11 районов | Разбиение на 12 районов |
| 1. Алгоритм на основе разности | 60,09 | 59,03 | 58,03 |
| 2. Алгоритм на основе числа связей | 58,85 | 57,42 | 56,49 |
| 3. Алгоритм на основе графа Кенига | 57,12 | 56,21 | 55,75 |
| 4. Алгоритм на основе кластеризации | 60,42 | 59,13 | 57,89 |
| 5. Алгоритм на основе формул ИРЧП | 55,85 | 56,15 | 56,63 |
| 6. Итерационный алгоритм | 60,96 | 60,11 | 58,51 |

Как видно из табл. 1, для всех случаев разбиения наилучший результат показывает итерационный алгоритм укрупнения районов. Среди последова-

тельных алгоритмов лучшие результаты – у алгоритма на основе разности и у алгоритма на основе кластеризации. Худшие результаты показывают алгоритмы на основе графа Кенига и на основе формул ИРЧП. Алгоритм на основе числа связей показал средние результаты.

Созданный программный продукт был апробирован на кафедре «Системы автоматизированного проектирования» Пензенского государственного университета и показал свою высокую эффективность с точки зрения получения наилучшего значения интегрального показателя.

Система предназначена для использования в администрации области как инструмент для принятия обоснованных управленческих решений. Рассмотренные алгоритмы не имеют жесткой привязки к региональным статистическим данным и поэтому могут быть применены также на федеральном уровне.

Список литературы

1. **Подмарькова, Е. М.** Разработка проблемно-ориентированной системы поиска оптимальной реструктуризации административно-территориального деления / Е. М. Подмарькова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 3.
2. **Бершадский, А. М.** Разработка метода формализации и постановка задачи реструктуризации административно-территориального деления регионов / А. М. Бершадский, А. Б. Щербань, Е. М. Подмарькова // *Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах*. – 2012. – № 15 (102), № 15. – С. 20–31.
3. **Подмарькова, Е. М.** Разработка алгоритмов интеллектуальной поддержки управленческих решений для административно-территориального деления / Е. М. Подмарькова, А. М. Бершадский // *Междисциплинарные исследования в науке и образовании*. – 2012. – № 1.
4. **Бершадский, А. М.** Методика поддержки принятия решений для реструктуризации административно-территориального деления / А. М. Бершадский, А. С. Бождай, Е. М. Подмарькова // *Открытое образование*. – 2012. – № 2 (91). – С. 26–29.
5. **Подмарькова, Е. М.** Разработка методов решения задач управления и принятия решений в реформировании границ административно-территориального деления / Е. М. Подмарькова // *Молодежь и наука : сб. материалов VIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского*. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012.
6. **Бершадский, А. М.** Информационная поддержка принятия решений об укрупнении муниципальных районов / А. М. Бершадский, А. С. Бождай, А. А. Гудков // *Телематика–2011 : сб. тр. XIX Всерос. науч.-метод. конф.* – СПб. : НИУ ИТМО, 2011. – С. 277–279.
7. Сайт федеральной службы государственной статистики. – URL: <http://www.gks.ru> свободный. [Загл. с экрана].

References

1. **Podmar'kova, Ye. M.** Razrabotka problemno-orientirovannoy sistemy poiska optimal'noy restrukturalizatsii administrativno-territorial'nogo deleniya / Ye. M. Podmar'kova // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. – 2012. – № 3.
2. **Bershadskiy, A. M.** Razrabotka metoda formalizatsii i postanovka zadachi restrukturalizatsii administrativno-territorial'nogo deleniya regionov / A. M. Bershadskiy,

- A. B. Shcherban', Ye. M. Podmar'kova // *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Aktual'nyye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh.* – 2012. – № 15 (102), № 15. – S. 20–31.
3. **Podmar'kova, Ye. M.** Razrabotka algoritmov intellektual'noy podderzhki upravlencheskikh resheniy dlya administrativno-territorial'nogo deleniya / Ye. M. Podmar'kova, A. M. Bershadskiy // *Mezhdistsiplinarnyye issledovaniya v nauke i obrazovanii.* – 2012. – № 1.
 4. **Bershadskiy, A. M.** Metodika podderzhki prinyatiya resheniy dlya restruktuzatsii administrativno-territorial'nogo deleniya / A. M. Bershadskiy, A. S. Bozhday, Ye. M. Podmar'kova // *Otkrytoye obrazovaniye.* – 2012. – № 2 (91). – S. 26–29.
 5. **Podmar'kova, Ye. M.** Razrabotka metodov resheniya zadach upravleniya i prinyatiya resheniy v reformirovaniy granits administrativno-territorial'nogo deleniya / Ye. M. Podmar'kova // *Molodezh' i nauka : sb. materialov VIII Vseros. nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, posvyashchennoy 155-letiyu so dnya rozhdeniya K. E. Tsiolkovskogo.* – Krasnoyarsk : Sib. feder. un-t, 2012.
 6. **Bershadskiy, A. M.** Informatsionnaya podderzhka prinyatiya resheniy ob ukрупnenii munitsipal'nykh rayonov / A. M. Bershadskiy, A. S. Bozhday, A. A. Gudkov // *Telematika–2011 : sb. tr. XIX Vseros. nauch.-metod. konf.* – SPb. : NIU ITMO, 2011. – S. 277–279.
 7. Sayt federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki. – URL: <http://www.gks.ru> svobodnyu. [Zagl. s ekrana].

Подмарькова Екатерина Михайловна
аспирант, Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

Podmar'kova Ekaterina Mikhailovna
Postgraduate student, Penza State
University (Penza, 40 Krasnaya str.)

E-mail: alpha-and-amega@yandex.ru

УДК 004.9

Подмарькова, Е. М.

Применение информационно-аналитической системы реструктуризации административно-территориального деления регионов / Е. М. Подмарькова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 26–34.

ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И РАДИОТЕХНИКА

УДК 681.5.015

И. А. Давыдов, А. Н. Шельяков

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНЕРЦИОННОГО РОСТА РЕГУЛИРУЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Аннотация. Приведены исследования характера переходных процессов при управлении инерционными объектами с запаздыванием. Экспериментально определены параметры переходных процессов и степень их влияния на величину инерционного роста регулируемой величины при воздействии на объект одиночным импульсным сигналом. Предложена зависимость для определения величины инерционного роста от выявленных параметров.

Ключевые слова: метод одиночного импульса, автоматическое управление, тепловой объект.

I. A. Davydov, A. N. Shel'pyakov

RESEARCH OF THE DEPENDENCE OF CONTROLLED VARIABLE INERTIAL GROWTH ON TRANSIENT PROCESS CHARACTERISTICS

Abstract. The article adduces the research of transient process characteristics during inertial objects control with time delay. The researchers experimentally determine the parameters of transients and their impact on the value of the controlled variable inertial growth when exposed to a single pulse signal object. The study suggests to determine the dependence of the inertial growth of the identified parameters.

Key words: single-pulse method, automatic control, thermal object.

Введение

Качество процесса автоматического регулирования во многом зависит от свойств объекта управления. Процесс управления тепловыми инерционными объектами всегда характеризуется инерционным ростом регулируемой величины (температуры) после отключения управляющего воздействия. Поэтому зачастую на производстве при управлении реальным тепловым технологическим оборудованием (муфельные печи, шахтные печи, автоклавы, пастеризаторы, сушилки и т.д.) возникают большие амплитуды перерегулирования вследствие инерционности. Данное явление существенно сказывается на снижении качества выпускаемой продукции и приводит к дополнительным энергетическим и экономическим расходам. Предлагаемая работа посвящена исследованию величины инерционного роста регулируемой величины при воздействии на объект одиночным управляющим импульсом.

1. Виды сигналов при автоматическом регулировании

При создании систем автоматического регулирования технологических параметров объектов в качестве управляющего воздействия используются следующие виды сигналов, формируемые регуляторами [1] (рис. 1):

а) **дискретный** сигнал, момент отключения которого определяется моментом достижения регулируемым параметром заданной величины. При этом для инерционных объектов с запаздыванием возможны существенные амплитуды отклонений регулируемого параметра Y от заданного значения Y_3 , так называемое «перерегулирование» A (рис. 1,а);

б) **непрерывный** (аналоговый), величина которого определяется пропорционально в зависимости от величины рассогласования между заданным Y_3 и текущим значением регулируемого параметра Y (рис. 1,б);

в) **широтно-импульсный**, в котором в качестве управляющей величины используется величина скважности S (отношение длительности управляющего импульса $t_{и}$ к постоянному периоду T следования этих импульсов). При этом величина S также определяется рассогласованием между заданным Y_3 и текущим значением регулируемого параметра Y (рис. 1,в);

г) **одиночный импульсный** сигнал, длительность которого $t_{и}$ должна обеспечить переход объекта из одного параметрического состояния в другое, заданное Y_3 (рис. 1,г).

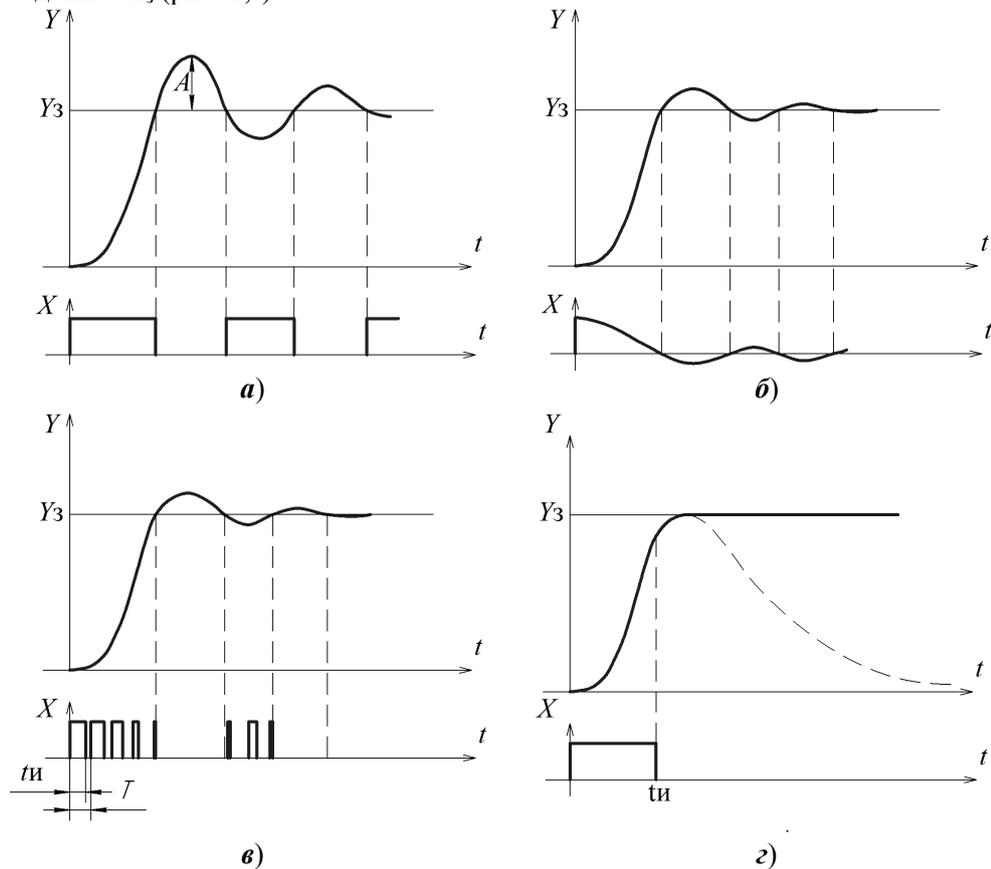


Рис. 1. Переходные процессы при различных управляющих сигналах

2. Определение параметров переходных процессов

Для сокращения времени и повышения точности процесса регулирования предлагается воздействовать на объект методом одиночного импульсного сигнала.

Основной задачей для осуществления данного метода является определение длительности воздействия одиночного управляющего импульса на объект для перевода его в заданное параметрическое состояние. Определение длительности или момента отключения управляющего импульса должно производиться оперативно по характеру текущего переходного процесса, в связи с чем возникает необходимость определения и исследования параметров переходных процессов, происходящих в объекте при воздействии на него одиночного управляющего импульса (рис. 2).

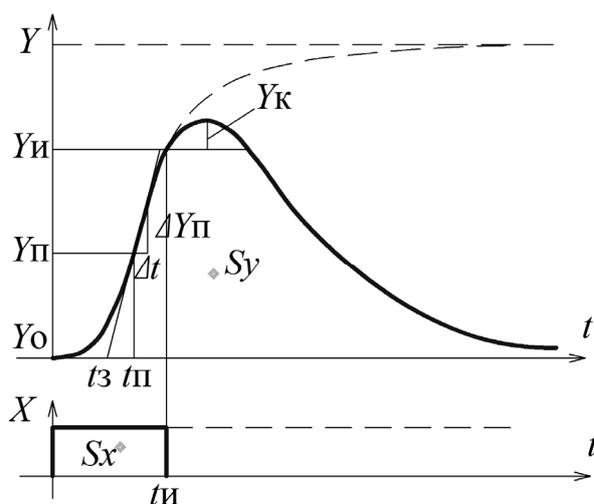


Рис. 2. Переходный процесс при одиночном импульсном управляющем сигнале

Исследование переходных процессов осуществлялось методом математического моделирования, что позволяет получить более достоверные закономерности поведения объектов, в отличие от исследования переходных процессов реальных объектов, так как в реальном объекте трудно определить влияние того или иного фактора на характер изменения переходного процесса.

В качестве математической модели использовалось дифференциальное уравнение второго порядка, которое наиболее близко отражает поведение объектов с запаздыванием, например тепловых объектов [2].

$$T_1 T_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t), \quad (1)$$

где T_1, T_2 – постоянные времени; k – коэффициент преобразования (усиления) входного сигнала, равный отношению установившейся регулируемой величины Y к величине управляющего импульса X : $k = Y / X$.

Анализ характера переходного процесса (см. рис. 2) показал, что при бесконечно длительном управляющем импульсе X процесс может быть пред-

ставлен в виде штриховой кривой. С энергетической точки зрения любой переходный процесс можно рассматривать как переход объекта после включения управляющего импульса в новое установившееся состояние, в котором поток энергии управляющего импульса будет равен потоку энергии рассеивания. При этом характер перехода зависит от параметров объекта и запаздывания управляющего воздействия. Для определения этих параметров на графике переходного процесса можно выделить следующие величины:

1) параметры объекта, которые характеризуются его инерционностью, которая может быть выражена через максимальную скорость V_m переходного процесса, определенную в точке его перегиба; $V_m = \Delta Y_n / \Delta t$. На переходном процессе координата максимальной скорости (точки перегиба) представляется Y_n и t_n ;

2) время запаздывания воздействия управляющего импульса t_3 , которое графически определяется точкой пересечения касательной, проведенной из точки перегиба переходного процесса, с горизонтальной прямой из начальной координаты Y_0 ;

3) текущая скорость $V_{и}$ изменения Y в момент $t_{и}$ окончания управляющего импульса, при этом $Y = Y_{и}$.

Таким образом, список рассматриваемых параметров переходного процесса будет следующим:

$$Y_n, t_n, V_m, Y_{и}, t_{и}, V_{и}, t_3. \quad (2)$$

После окончания управляющего импульса выходной параметр объекта Y продолжает рост вследствие своей инерционности и запаздывания на величину Y_k , которую и необходимо определить, используя представленные выше параметры.

3. Схема объекта управления

Для варьирования параметров объектов использованы следующие величины:

- 1) T_1, T_2 – совокупность постоянных времени, характеризующая запаздывание управляющего воздействия, а также инерционность самого объекта,
- 2) k – величина, отражающая коэффициент преобразования объекта.

Для исследования параметров переходных процессов использовалась автоматизированная среда VisSim 3.0, предназначенная для построения и исследования виртуальных моделей физических и технических объектов.

Структурная схема инерционного объекта с запаздыванием содержит два последовательно соединенных инерционных звена первого порядка (рис. 3). В результате реализации данной схемы объект обладает инерционностью и запаздыванием.

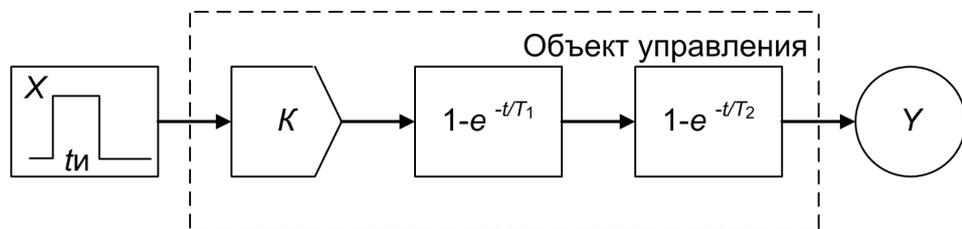


Рис. 3. Структурная схема управления инерционным объектом с запаздыванием

4. Исследование параметров переходных процессов

Для построения переходных характеристик величины были назначены таким образом, чтобы объекты имели различные свойства: инерционность, запаздывание и коэффициент преобразования. Исследованы объекты со следующими значениями:

- объект 1: $k = 100, T_1 = 200, T_2 = 350$,
- объект 2: $k = 100, T_1 = 350, T_2 = 400$,
- объект 3: $k = 100, T_1 = 400, T_2 = 500$,
- объект 4: $k = 50, T_1 = 200, T_2 = 350$.

В результате моделирования получены графики переходных характеристик для каждого объекта, представленные на рис. 4.

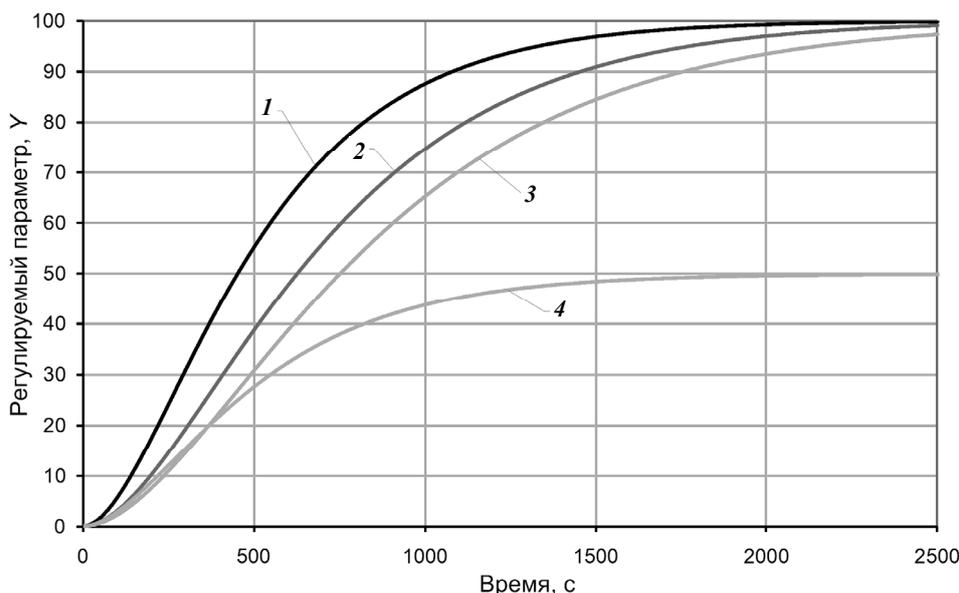


Рис. 4. Переходные характеристики инерционных объектов

Характер переходных характеристик показывает следующее: чем больше значения постоянных времени, тем более инерционен объект. Коэффициент k отражает усиление выходного воздействия от входного (управляющего).

Для определения параметров переходных процессов Y_n, t_n, V_m , и t_3 объектов с одинаковыми свойствами, т.е. постоянными T_1 и T_2 , вне зависимости от значения коэффициента k исследовано поведение объектов 2 и 4 ($T_1 = 200, T_2 = 350$). Найдены следующие зависимости (рис. 5):

- любой объект, независимо от коэффициента преобразования k , обладает постоянными значениями времен запаздывания t_3 и точки перегиба t_n ;
- координата Y_n пропорциональна коэффициенту преобразования k (мощности управляющего сигнала X_n), т.е. $Y_{n2} = 2Y_{n4}$;
- значение максимальной скорости V_m также пропорционально коэффициенту преобразования k .

При анализе переходных характеристик выявлено, что отрезок времени воздействия управляющего импульса T_Σ , который графически определяется

от точки перегиба до пересечения касательной, проведенной из точки перегиба процесса, с горизонтальной прямой, соответствующей максимальной координате параметра Y , равен сумме постоянных времени, характеризующих объект: $T_{\Sigma} = T_1 + T_2$. Пример определения значения T_{Σ} для объекта 2 изображен на рис. 6.

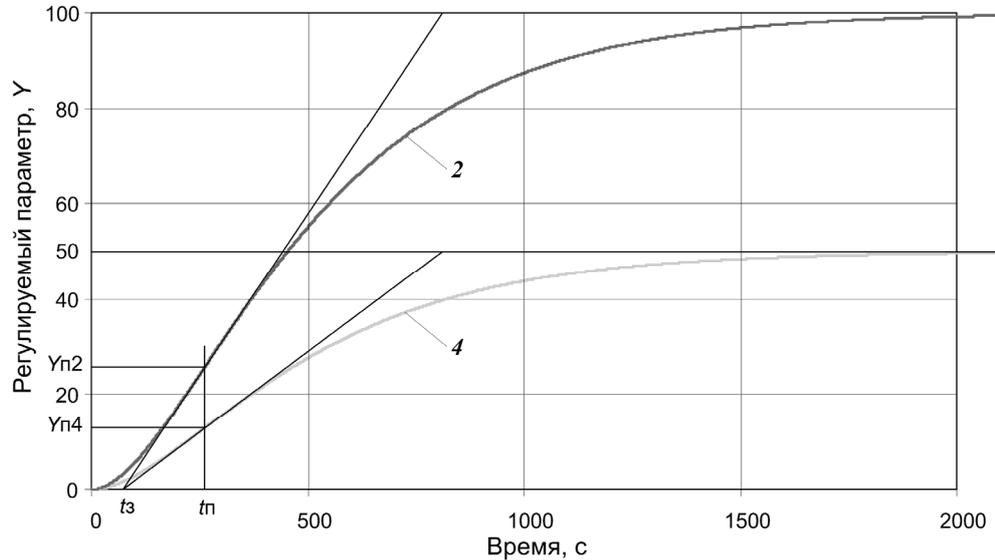


Рис. 5. Определение запаздывания t_3 , координат точки перегиба $t_{п}$ и $Y_{п}$ переходного процесса

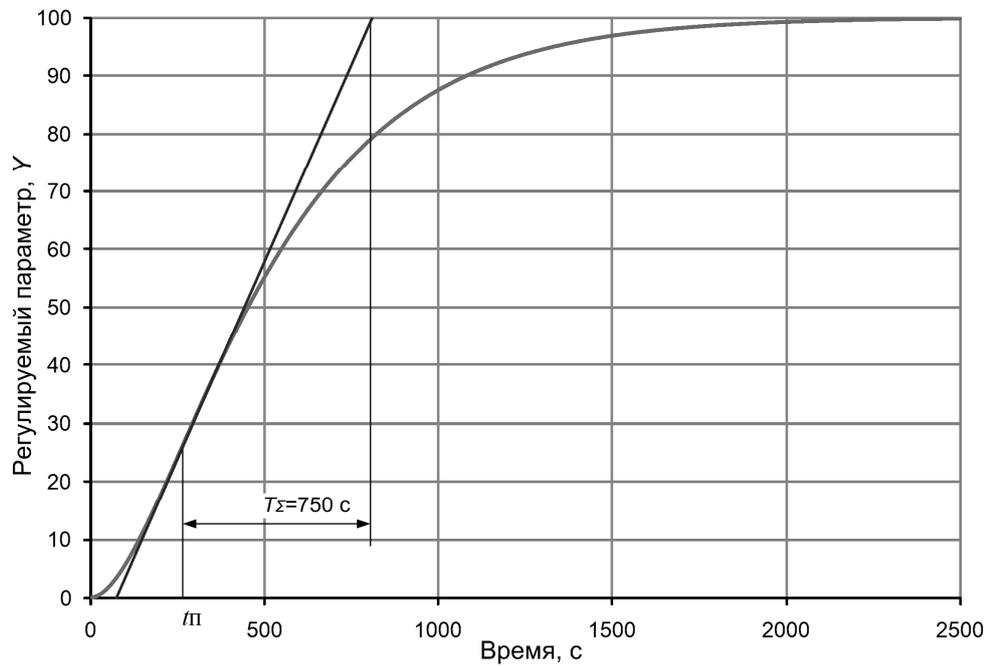


Рис. 6. Определение суммы постоянных времени T_{Σ} по переходной характеристике объекта

Проводилось моделирование процесса регулирования инерционными объектами серией управляющих импульсов различных длительностей: 10, 30, 50, 70, 100, 150, 200... 1000, 1200, 1400... 2000, 2200 и 2500 с.

Построенные переходные процессы различных длительностей для объекта 2 представлены на рис. 7.

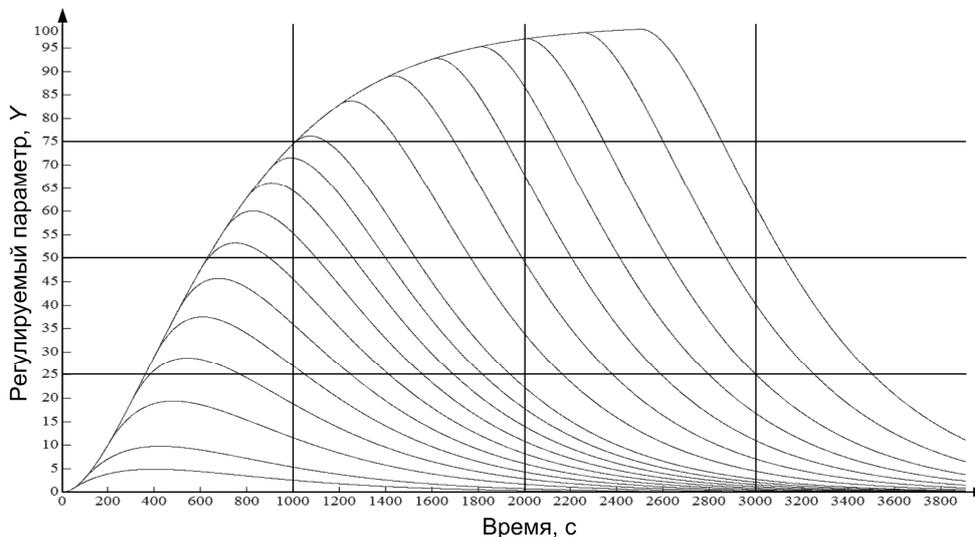


Рис. 7. Переходные процессы объекта 2 при различных длительностях управляющего воздействия $t_{и}$

После построения переходных процессов определены основные параметры согласно рис. 2, влияющие на величину Y_k : $Y_{п}$, $t_{п}$, V_m , $Y_{и}$, $t_{и}$, $V_{и}$, t_3 .

При анализе параметров переходных процессов определены зависимости величины инерционного роста Y_k и текущей скорости $V_{и}$ изменения регулируемой величины от длительности управляющего импульса $t_{и}$ для каждого объекта: $Y_k = F(t_{и})$ и $V_{и} = F(t_{и})$. Данные зависимости представлены на рис. 8 и 9 соответственно.

Характер зависимостей $Y_k = F(t_{и})$ и $V_{и} = F(t_{и})$ позволяет сделать выводы, подтверждаемые рис. 10:

- максимальное значение величина $V_{и}$ принимает в момент, определяемый точкой перегиба $t_{п}$;

- величина инерционного роста регулируемого параметра Y_k в момент окончания управляющего импульса достигает своего максимума в точке t_k , отстоящей от координаты V_m на величину Δt , равную t_3 , в сторону начала координат (ранее);

- зависимости $Y_k = F(t_{и})$ и $V_{и} = F(t_{и})$ аналогичны.

На рис. 10 зависимости Y_k и $V_{и}$ показаны в увеличенном масштабе: $Y_k \times 10$, $V_{и} \times 700$.

Для определения длительности переходного процесса $t_{пр}$, равной времени достижения регулируемым параметром максимального значения, объекты управлялись одиночными импульсами различной продолжительности. Выявлено, что объекты с постоянными величинами T_1 и T_2 , независимо от коэффициента преобразования k , при одинаковой длительности импульса $t_{и}$

обладают одинаковыми значениями величины $t_{пр}$. Величина Y_k при этих условиях прямо пропорциональна коэффициенту k (рис. 11).

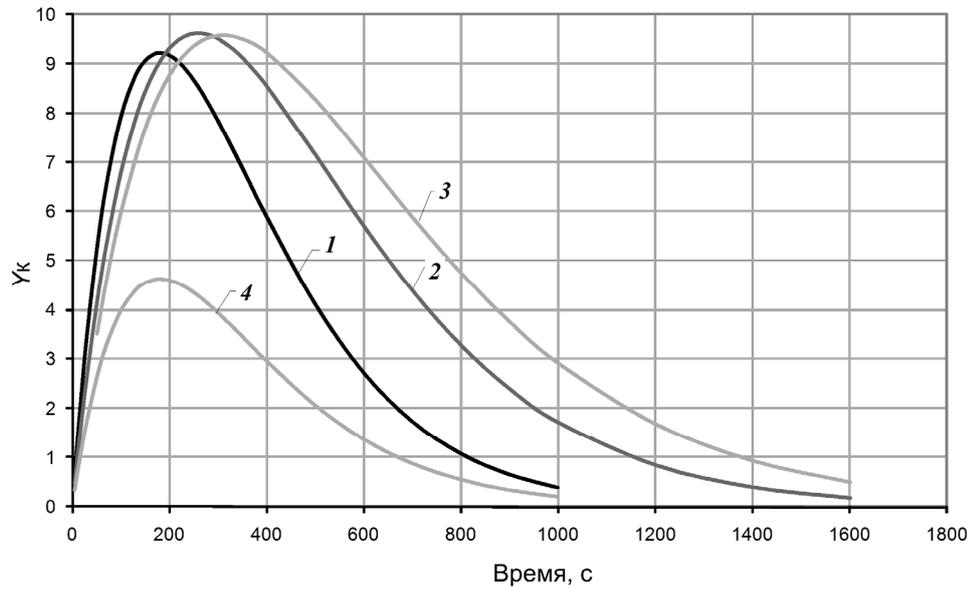


Рис. 8. Зависимость величины инерционного роста Y_k регулируемой величины для различных объектов от длительности воздействия $t_{и}$

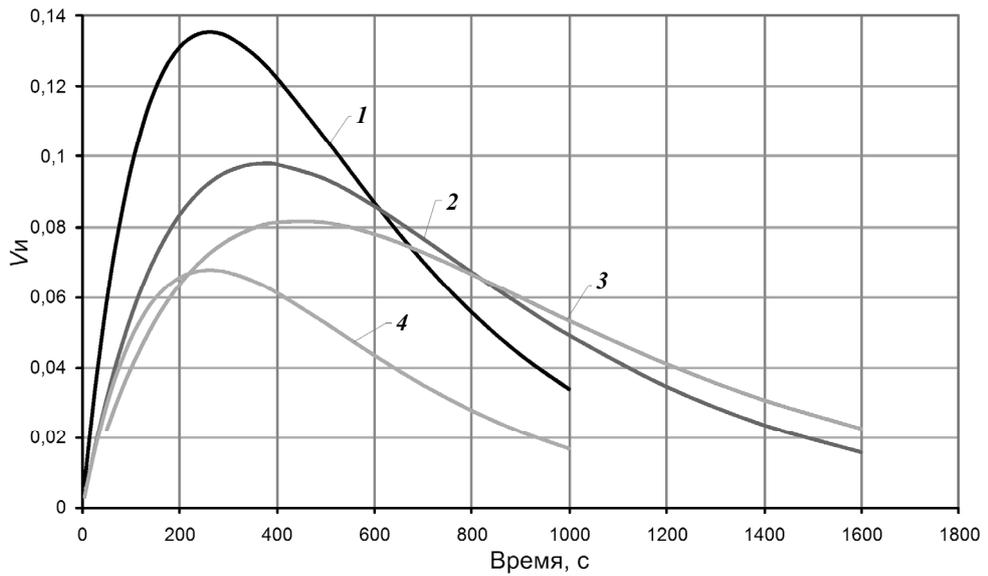


Рис. 9. Зависимость текущей скорости $V_{и}$ изменения регулируемой величины для различных объектов от длительности воздействия $t_{и}$

5. Закономерности в переходных процессах

Таким образом, анализ полученных переходных процессов позволяет отметить следующие закономерности:

1. Величина инерционного роста выходного параметра Y_k после завершения управляющего импульса прямо пропорционально зависит от величины транспортного запаздывания t_3 управляющего воздействия (см. рис. 8).

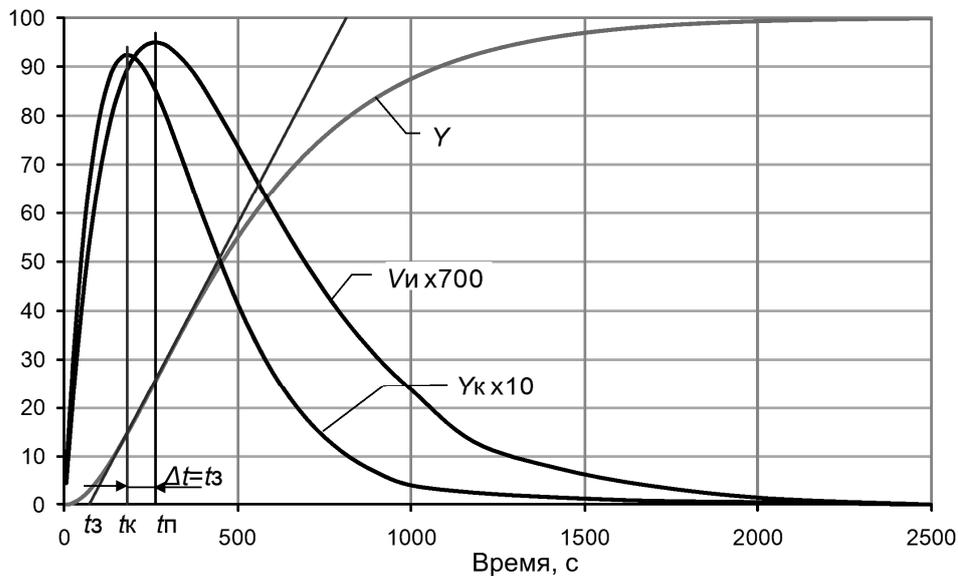


Рис. 10. Переходная характеристика зависимости $V_{и}$ и Y_k от $t_{и}$

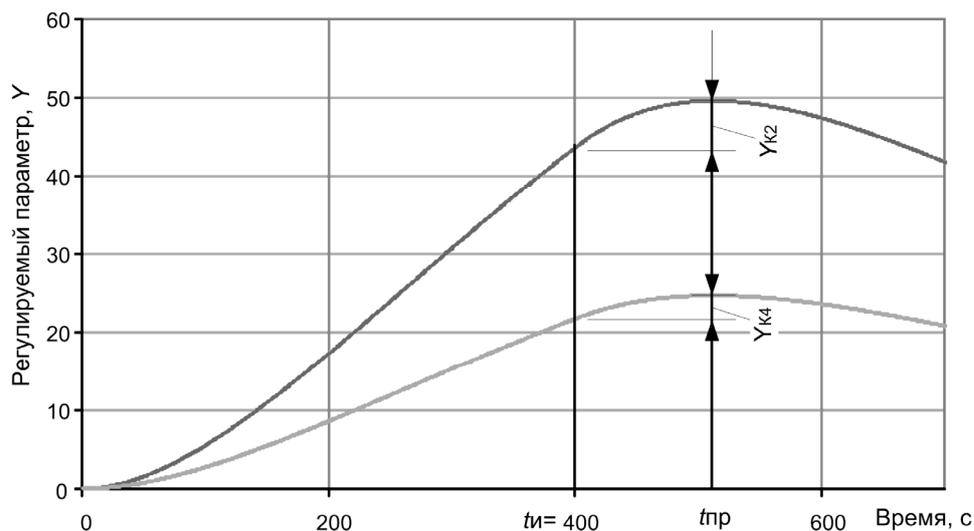


Рис. 11. Длительность переходного процесса $t_{пр}$

2. Характер зависимости $Y_k = F(t_{и})$ соответствует характеру изменения $V_{и} = F(t_{и})$ (см. рис. 8, 9).

3. Величина Y_k при изменении длительности импульса $t_{и}$ достигает своего максимума в точке, отстоящей от координаты максимальной скорости V_m на величину, равную t_3 , в сторону начала координат (ранее) (см. рис. 10).

4. Интеграл (площадь) функции переходного процесса $Y = F(t)$ равен интегралу (площади) управляющего импульса, т.е. $\int X dt = \int Y dt$ при $k = 1$. Это

говорит о том, что вся переданная объекту энергия расходуется на насыщение и на рассеивание объектом энергии.

5. Объект с постоянными свойствами T_1 и T_2 обладает постоянным запаздыванием t_3 , независимо от мощности управляющего воздействия и коэффициента преобразования k (см. рис. 5).

6. Объект с постоянными T_1 и T_2 обладает постоянной величиной t_n , в то время как координата Y_n пропорциональна мощности управляющего воздействия и коэффициенту преобразования k (см. рис. 5).

7. Объект с постоянными T_1 и T_2 обладает максимальной скоростью V_m , значение которой пропорционально мощности управляющего воздействия и коэффициенту преобразования k (рис. 5).

8. Объект с постоянными T_1 и T_2 , независимо от мощности управляющего воздействия и коэффициента преобразования k , при одинаковой длительности импульса t_n обладает одинаковой длительностью переходного процесса $t_{пр}$, определяемой моментом достижения максимального значения регулируемого параметра (см. рис. 11).

6. Зависимость величины инерционного роста от параметров переходных процессов

На основе проведенного анализа предложена функциональная зависимость величины инерционного роста Y_k от параметров переходного процесса в виде

$$Y_k = aV_и t_3, \quad (3)$$

где a – коэффициент, учитывающий отношение текущей скорости изменения регулируемой величины объекта к максимальной скорости, достигаемой в точке перегиба, равный $a = 0,8V_w/V_m$; $V_и$ – скорость изменения выходного параметра в момент окончания управляющего импульса; t_3 – величина транспортного запаздывания объекта.

Заключение

Проведенные исследования позволили выявить основные закономерности поведения и параметры переходных процессов инерционных объектов с запаздыванием, а также получить зависимость величины инерционного роста выходного параметра объекта Y_k от длительности управляющего импульса t_n . Результаты исследования позволяют создать алгоритм управления объектами с запаздыванием методом одиночного импульса, который обеспечит перевод объекта в заданное состояние за минимально возможное время с высокой точностью.

Список литературы

1. Теория автоматического управления : учеб. для машиностроит. спец. вузов / В. Н. Брюханов, М. Г. Косов, С. П. Протопопов и др. ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – 3-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2000. – 268 с.
2. **Макаров, И. М.** Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал) / И. М. Макаров, Б. М. Менский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1982. – 504 с.

References

1. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya : ucheb. dlya mashinostroit. spets. vuzov / V. N. Bryukhanov, M. G. Kosov, S. P. Protopopov i dr. ; pod red. YU. M. Solomentseva. – 3-ye izd., ster. – M. : Vyssh. shk., 2000. – 268 s.
2. **Макаров, И. М.** Lineynyye avtomaticheskkiye sistemy (elementy teorii, metody rascheta i spravochnyy material) / I. M. Makarov, B. M. Menskiy. – 2-ye izd., pererab. i dop. – M. : Mashinostroyeniye, 1982. – 504 s.

Давыдов Иван Александрович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра технологии машиностроения
и приборостроения, Воткинский филиал
Ижевского государственного
технического университета
имени М.Т. Калашникова
(Удмуртская Республика, г. Воткинк,
ул. П. И. Шувалова, 1)

E-mail: davyd85@mail.ru

Davydov Ivan Alexandrovich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of machine
building and instrumentation technology,
Votkinsk branch of Izhevsk State Technical
University named after M. T. Kalashnikov
(Republic of Udmurtiya, Votkinsk,
1 P. I. Shuvalova str.)

Шельпяков Александр Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра технологии машиностроения
и приборостроения, Воткинский филиал
Ижевского государственного
технического университета
имени М.Т. Калашникова
(Удмуртская Республика, г. Воткинк,
ул. П. И. Шувалова, 1)

E-mail: davyd85@mail.ru

Shel'pyakov Alexander Nikolaevich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of machine
building and instrumentation technology,
Votkinsk branch of Izhevsk State Technical
University named after M. T. Kalashnikov
(Republic of Udmurtiya, Votkinsk,
1 P.I. Shuvalova str.)

УДК 681.5.015

Давыдов, И. А.

Исследование зависимости инерционного роста регулируемой величины от параметров переходного процесса / И. А. Давыдов, А. Н. Шельпяков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 35–45.

*В. Я. Горячев, О. В. Гаврина,
Ю. К. Чапчиков, Ю. А. Шатова*

**АНАЛИЗ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
НА ОСНОВЕ ДАТЧИКА БИЕНИЙ ВАЛА
С БЕГУЩИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

Аннотация. Рассмотрены причины возникновения систематических погрешностей информационно-измерительной системы измерений биений вала на базе датчика с бегущим магнитным полем. Для анализа причин возникновения погрешностей использована компьютерная модель, разработанная авторами с использованием среды MatLAB. Приведены результаты исследований погрешности реальной информационно-измерительной системы.

Ключевые слова: датчик, бегущее магнитное поле, биения вала, программное обеспечение MatLAB.

V. Y. Goryachev, O. V. Gavrina, Y. K. Chapchikov, Y. A. Shatova

**ANALYSIS OF A SYSTEMATIC ERROR OF AN INFORMATION-
MEASURING SYSTEM ON THE BASIS OF A SHAFT
BEAT DETECTOR WITH TRAVELING MAGNETIC FIELD**

Abstract. The article considers the cause of systematic errors of the shaft beating information-measuring system on the basis of the detector with traveling magnetic field. In order to analyze the error origins the authors have developed a computer model on the basis of MatLab software. The article adduces the research results of a real information-measuring system error.

Key words: detector, traveling magnetic field, shaft beating, MatLab software.

Введение

Анализ погрешностей любого средства измерения представляет собой достаточно сложную задачу. При большом числе источников погрешностей сложность анализа усугубляется большим объемом выполняемой работы.

По характеру своего проявления в конечном результате измерения (преобразования) погрешности делят на систематические, прогрессирующие и случайные, в зависимости от вида зоны распределения полосы погрешностей средства измерения (преобразования) – на аддитивные и мультипликативные.

Настоящая работа посвящена анализу систематических погрешностей датчика биений, реализованного на базе электромагнитной системы (ЭМС) с бегущим магнитным полем. Поэтому термин «систематические» будем в дальнейшем опускать, оставляя в случае действительной его необходимости по контексту.

Природа систематических погрешностей известна либо может быть предсказана, и, следовательно, они могут быть почти полностью устранены введением соответствующих поправок. Обнаружение систематической погрешности средства измерения и ее коррекция возможны по результатам проверки этого средства измерения.

Наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на погрешность средства измерения, перечислены в работе [1]. Их можно разделить на две группы – не зависящие и зависящие от конструктивных параметров исследуемого средства измерения.

1. Электромагнитная система с бегущим магнитным полем датчика биений вала

Непосредственно датчик биений вала представляет собой статор, во внутренние пазы которого уложены синусная, косинусная и так называемая равномерная обмотки [2]. Во внутреннее пространство статора вводится вал, на биения которого и должен реагировать датчик. Таким образом, при выводе функции преобразования датчика биений вала и анализе его погрешностей необходимо рассматривать совокупность «датчик (статор) – вал».

Между внутренней поверхностью статора и внешней поверхностью вала имеется воздушный зазор. Поперечное сечение магнитной системы датчика совместно с контролируемым валом представлено на рис. 1.

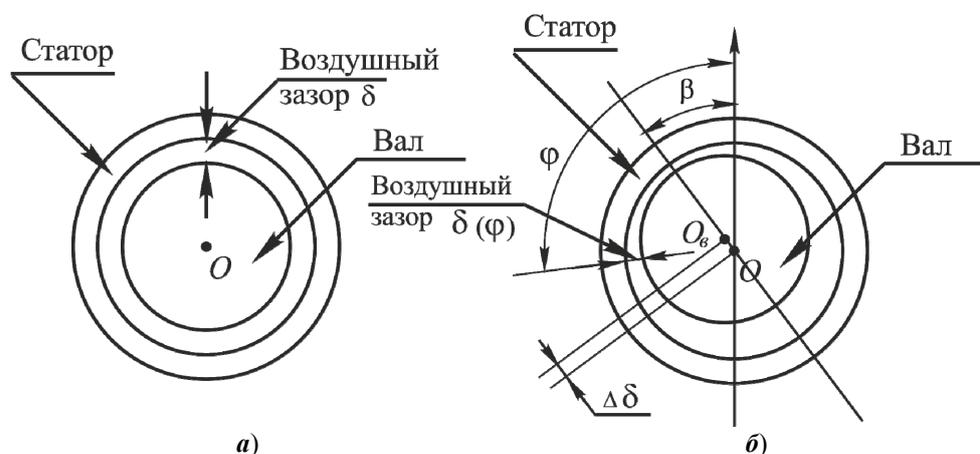


Рис. 1

При установке датчика статор надевают на вал и фиксируют таким образом, чтобы его магнитная ось совпала с геометрической осью вала. При идеальном изготовлении статора датчика и вала и выполнении условия фиксации статора ширина воздушного зазора δ по всей его длине остается неизменной (рис. 1,а).

Сущность биения вала заключается в том, что его геометрическая ось O_B (см. рис. 1,б) смещается от своего исходного положения, совпадающего с магнитной осью O статора. При этом между осями O и O_B появляется смещение $\Delta\delta$. Воздушный зазор $\delta = \delta(\varphi)$ по его длине оказывается при этом величиной переменной, зависящей как от самого смещения $\Delta\delta$, так и от пространственного угла φ . Минимальное и максимальное значения воздушного зазора δ располагаются на прямой, соединяющей оси O и O_B . Контролируемый вал можно рассматривать как ротор датчика. При этом он выполняет функцию магнитного шунта, аналогичную магнитному шунту линейного датчика перемещения с бегущим магнитным полем [2].

Непосредственно из рис. 1,б видно, что положение точки O_B можно задать координатами x и y в прямоугольной системе координат, нуль которой совмещен с точкой O магнитной оси статора. Именно поэтому, как правило, измерения биений валов осуществляют путем использования двух датчиков, измеряющих перемещения вала в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Эта же задача достаточно просто решается путем использования рассматриваемого здесь датчика биений вала с бегущим магнитным полем. В нем используется полярная система координат. Полярная ось (см. рис. 1,б) проходит через точку O магнитной оси статора и направлена по вертикали. Радиус-вектор направлен по прямой, соединяющей магнитную ось O статора с осью вала O_B . Таким образом, координата точки O_B определяется смещением оси вала $\Delta\delta$ и направлением смещения β .

2. Особенности расчета погрешностей двухкоординатного датчика перемещений

При вычислении погрешности средства измерения по результатам испытаний обычно используется методика, основанная на линеаризации его характеристики. По ряду значений выходной величины y , соответствующих значениям входной величины x , согласно методу наименьших квадратов находят уравнение прямой $y = a_0 + a_1x$, представляющей зависимость выходной величины средства измерения от его входной величины (характеристика средства измерения). Значения коэффициентов a_0 и a_1 определяются по формулам:

$$a_0 = \frac{\sum_1^n y_i \sum_1^n x_i^2 - \sum_1^n x_i \sum_1^n x_i y_i}{n \sum_1^n x_i^2 - \left(\sum_1^n x_i \right)^2}; \quad a_1 = \frac{n \sum_1^n x_i y_i - \sum_1^n x_i \sum_1^n y_i}{n \sum_1^n x_i^2 - \left(\sum_1^n x_i \right)^2},$$

где y – значение выходной величины; x – значение входной величины; n – количество наблюдений; a_0 , a_1 – коэффициенты уравнения прямой линии; y_i – значения выходной величины, соответствующие значениям входной величины x_i .

Дисперсия выходной величины:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\bar{y}_i - y_i \right)^2,$$

где \bar{y}_i – расчетные значения выходной величины согласно найденной характеристике $y = a_0 + a_1x$ средства измерения, соответствующие значениям входной величины x_i , т.е. $\bar{y}_i = a_0 + a_1x_i$.

Такая методика нахождения погрешности средства измерения неприемлема по отношению к двухкоординатному датчику перемещений, так как он характеризуется двумя входными и выходными величинами. Каждая из двух выходных величин является функцией двух независимых входных величин. Следовательно, совокупность независимых входных величин представляет собой бесчисленное число точек некоторой плоскости. Каждая точка этой плоскости в силу реально существующей нелинейности характеристики средства измерения будет отражать соответствующую точку на некоторой поверхности, определяющую две выходные величины. Для упрощения последующих действий более целесообразно рассматривать соответствие входных и каждой из выходных величин датчика порознь. При этом в силу той же нелинейности функции преобразования датчика мы будем иметь дело с более простыми поверхностями, отображающими соответствие совокупности независимых входных величин совокупностям точек для каждой из выходных величин датчика перемещений. Таким образом, функция преобразования по каждой из выходных величин будет представлена своей поверхностью [3]. Коэффициенты, определяющие эти поверхности, находятся по данным эксперимента в соответствии с соотношениями согласно методу наименьших квадратов для рассматриваемого случая.

Уравнения плоскостей значений выходных напряжений U_{id} и их начальных фаз α_{id} представим следующим образом:

$$U_{id} = a_1\beta + a_2\Delta\delta + a_3; \alpha_{id} = b_1\beta + b_2\Delta\delta + b_3,$$

где U_{id} – идеальное значение выходного напряжения для заданного перемещения (смещения) оси вала и его направления; α_{id} – идеальное значение начальной фазы выходного напряжения для заданного смещения оси вала и его направления; $\Delta\delta$ – значение смещения оси вала; β – значение направления смещения оси вала; a_1, a_2, a_3 – постоянные коэффициенты уравнения поверхности выходных напряжений; b_1, b_2, b_3 – постоянные коэффициенты уравнения поверхности начальных фаз выходных напряжений.

Искомые коэффициенты уравнения поверхности напряжений вычисляются решением систем уравнений:

$$k_{11}a_1 + k_{12}a_2 + k_{13}a_3 = l_{11},$$

$$k_{21}a_1 + k_{22}a_2 + k_{23}a_3 = l_{21},$$

$$k_{31}a_1 + k_{32}a_2 + k_{33}a_3 = l_{31},$$

где

$$k_{11} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n \beta_{pr}^2, \quad k_{12} = k_{21} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n \beta_{pr} \Delta\delta_{pr},$$

$$k_{13} = k_{31} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n \beta_{pr}, \quad k_{22} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n \Delta\delta_{pr}^2,$$

$$k_{23} = k_{32} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n \Delta\delta_{pr}, \quad k_{33} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n 1 = m \cdot n,$$

$$l_{11} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n \beta_{pr} U_{pr}, \quad l_{21} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n \Delta\delta_{pr} U_{pr}, \quad l_{31} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n U_{pr},$$

m – количество точек характеристики по смещению; n – количество точек характеристики по направлению смещения.

Система уравнений для вычисления коэффициентов уравнения поверхности начальных фаз выходных напряжений выглядит следующим образом:

$$k_{11}b_1 + k_{12}b_2 + k_{13}b_3 = h_{11};$$

$$k_{21}b_1 + k_{22}b_2 + k_{23}b_3 = h_{21};$$

$$k_{31}b_1 + k_{32}b_2 + k_{33}b_3 = h_{31},$$

где b_1, b_2, b_3 – коэффициенты уравнения плоскости начальных фаз идеальной характеристики,

$$h_{11} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n \beta_{pr} \alpha_{pr}, \quad h_{21} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n \Delta\delta_{pr} \alpha_{pr}, \quad h_{31} = \sum_{p=1}^m \sum_{r=1}^n \alpha_{pr},$$

α_{pr} – значения реальной фазы выходного напряжения датчика биений вала, соответствующие определенным значениям смещения оси вала и их направлениям.

3. Информационно-измерительная система для измерения биений вала на базе ЭМС с бегущим магнитным полем и ее имитационная модель

При отсутствии в статоре датчика контролируемого вала либо отсутствия биения вала (рис. 1,а) магнитное поле в зазоре является однородным, и выходное напряжение датчика равно нулю. При смещении оси O_v вала относительно оси O датчика (статора) на значение $\Delta\delta$ в направлении β по отношению к полярной оси магнитное поле в зазоре становится неоднородным. Это в соответствии с принципом действия датчиков с бегущим магнитным полем [2] приводит к появлению ненулевого выходного напряжения датчика, несущего в себе информацию о $\Delta\delta$ и β .

При малых смещениях $\Delta\delta$ вала выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ датчика пропорционально смещению $\Delta\delta$, а начальная фаза его α относительно опорного напряжения равна направлению смещения вала β . С изменением β начальная фаза выходного напряжения датчика может принимать значения от 0 до 2π радиан. Максимальное значение $\Delta\delta_{\text{max}}$ смещения вала, при котором сохраняется пропорциональная зависимость между $\Delta\delta$ и амплитудой выходного напряжения датчика, зависит от значения зазора $\delta = \delta_0$ при отсутствии биений вала (рис. 1,а). Очевидно, что с увеличением δ_0 увеличивается и $\Delta\delta_{\text{max}}$.

В общем случае эти пропорциональности не соблюдаются и для получения выходных величин, порознь пропорциональных $\Delta\delta$ и β , необходима обработка выходного сигнала датчика. Этой цели и служит информационно-измерительная система (ИИС).

ИИС может работать в двух режимах – двухфазном и однофазном. Функциональная схема ИИС для случая однофазного режима работы ЭМС представлена на рис. 2. В ее состав входят все блоки двухфазного режима, а также дополнительный фазовращатель синусоидального напряжения и сумматор. Для питания ЭМС датчика в этом случае используется источник однофазного напряжения. Его напряжение U_{Π} подается на равномерную обмотку ЭМС, создающую пульсирующее магнитное поле. При наличии биения вала ($\Delta\delta \neq 0$) в синусной и косинусной обмотках ЭМС наводятся синфазные ЭДС. Амплитудные значения их пропорциональны значениям $\sin\beta$ и $\cos\beta$ соответственно. Выходные напряжения U_s и U_c электромагнитной системы пропорциональны токам соответствующих обмоток при равенстве сопротивлений их нагрузок. Выходное напряжение ИИС получают путем суммирования этих напряжений с помощью сумматора. Однако для получения начальной фазы выходного напряжения U сумматора, равного направлению смещения β , одно из этих напряжений (U_s) необходимо сместить по фазе на $+\pi/2$. Это и осуществляется с помощью фазовращателя синусоидального напряжения. Амплитуда выходного напряжения ИИС при этом пропорциональна смещению $\Delta\delta$, а $\alpha = \beta$.

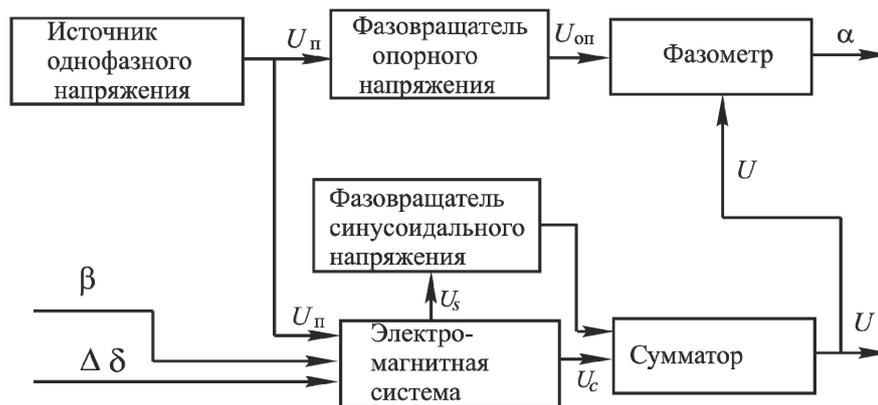


Рис. 2

Передаточная функция реальных ИИС биений вала на базе ЭМС с продольным магнитным полем представляет собой довольно сложную зависимость, в которую входит большое количество различных конструктивных параметров. Это создает значительные трудности получения аналитического выражения погрешности ИИС в зависимости от точности изготовления отдельных элементов ЭМС и параметров устройств, входящих в состав ИИС. Вместе с тем при проектировании ИИС важно иметь обоснованные требования к точности изготовления его функциональных элементов (в особенности элементов с магнитными цепями) из условия получения заданной погрешности ИИС. В связи с этим была разработана имитационная (математическая)

модель рассмотренной ИИС, реализующая процессы в структурных элементах ИИС согласно ее функции преобразования и математическую обработку экспериментальных данных для получения метрологических характеристик ИИС. При разработке имитационной модели ИИС преследовались следующие цели:

- достоверное математическое отражение физических процессов, происходящих в ЭМС и других компонентах ИИС;
- получение выходных величин ИИС;
- получение зависимости погрешности ИИС от конструктивных параметров ЭМС и других компонентов ИИС.

4. Погрешность нелинейности магнитной системы

Анализ функции преобразования датчика биений и характеристик, полученных с помощью математической модели, указывает на то, что сама конструкция датчика даже при идеальном изготовлении элементов датчика не может обеспечить линейную функцию преобразования. Поэтому на первом этапе проектирования датчика необходимо определить соотношения между допустимыми величинами перемещений вала и необходимой погрешностью измерений.

На рис. 3 и 4 представлены поверхности, отражающие зависимость амплитуды выходного напряжения (рис. 3) и начальной фазы выходного напряжения (рис. 4) от значения смещения оси вала и направления смещения. При этом максимальное смещение вала принималось равным зазору $\delta = \delta_0$ для случая отсутствия биения вала (см. рис. 1,а). Очевидным является тот факт, что эти зависимости представлены криволинейными поверхностями.

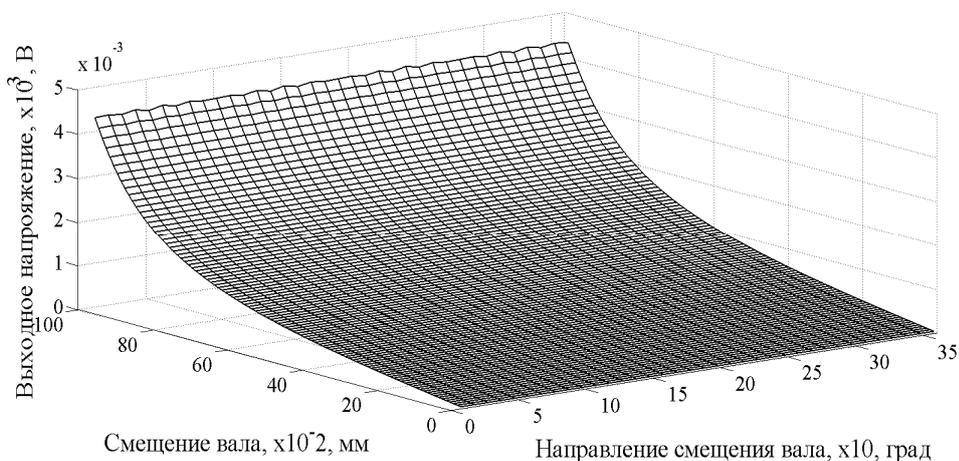


Рис. 3

Непосредственно из рис. 3, 4 видно, что при малых смещениях $\Delta\delta$ вала кривизна поверхностей мала и поверхности близки к плоскости. При этом амплитуда выходного напряжения датчика пропорциональна смещению $\Delta\delta$,

а начальная фаза его относительно опорного напряжения равна направлению смещения оси вала β . Максимальное значение $\Delta\delta_{\max}$ смещения вала, при котором сохраняется пропорциональная зависимость между $\Delta\delta$ и амплитудой выходного напряжения датчика, зависит от значения зазора $\delta = \delta_0$ при отсутствии биений вала (рис. 1,а). Как отмечалось ранее, с увеличением δ_0 увеличивается и $\Delta\delta_{\max}$.

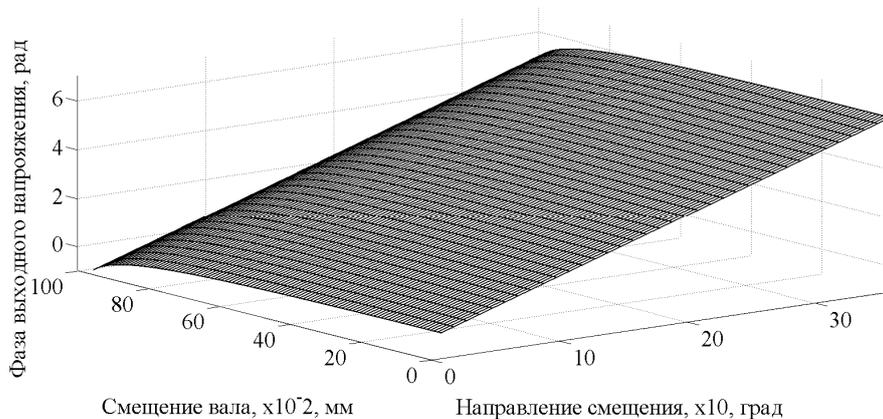


Рис. 4

Очевидно, целесообразно провести анализ погрешности датчика с идеально изготовленными элементами с целью определения предельного $\Delta\delta_{\max}$ смещения вала, для которого погрешность ИИС не превышает установленного значения. Результаты такого анализа представлены на рис. 5 и 6. На рис. 5 представлен график погрешности измерения смещения, а на рис. 6 – график погрешности направления смещения в зависимости от значения смещения $\Delta\delta$. Графики соответствуют случаю $\delta_0 = 1$ мм.

Непосредственно из графика на рис. 5 видно, что погрешность измерения смещения вала с увеличением $\Delta\delta$ возрастает. При $\Delta\delta = 0,3 \delta_0$ погрешность измерения смещения оси вала достигает 1 %.

Что касается погрешности измерения направления смещения вала (рис. 6), то она гораздо меньше погрешности смещения оси вала и при том же ($0,3 \delta_0$) смещении оси вала составляет примерно десятую долю процента.

Для аналитического определения значений рассмотренных погрешностей ИИС по заданному смещению $\Delta\delta$ графики (рис. 3, 4) были аппроксимированы полиномами четвертой степени непосредственно по экспериментальным данным.

Получены соотношения

$$p_{\Delta\delta} = (2,45(\Delta\delta)^4 - 0,54(\Delta\delta)^3 + 8,14(\Delta\delta)^2 + 0,02(\Delta\delta)) \times 10^{-2},$$

$$p_{\beta} = (13,8(\Delta\delta)^4 - 20,3(\Delta\delta)^3 + 9,84(\Delta\delta)^2 - 1,41(\Delta\delta)) \times 10^{-2}$$

для вычисления погрешностей измерения смещения оси вала ($p_{\Delta\delta}$) и направления смещения (p_{β}) по заданному значению смещения оси вала $\Delta\delta$.

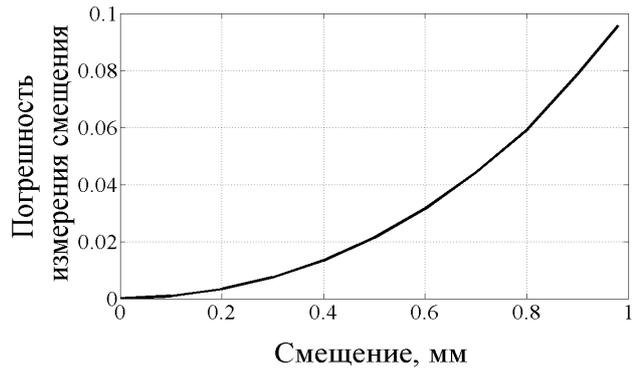


Рис. 5

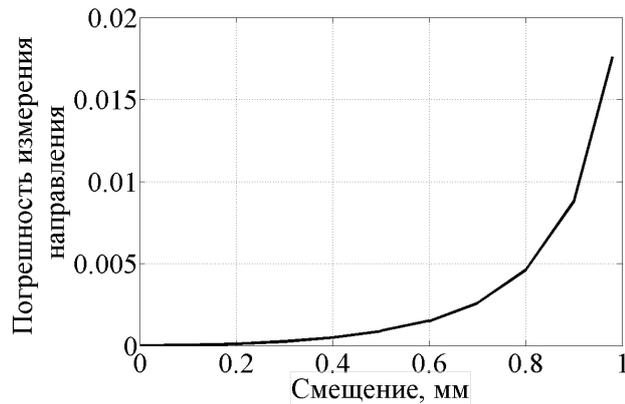


Рис. 6

Погрешность, обусловленная неточностью установки датчика

Принцип действия датчика биений вала основан на нарушении однородности магнитного поля совокупности «датчик (статор) – контролируемый вал», вызванном смещением оси вала и магнитной оси статора. Это приводит к нарушению однородности магнитного поля воздушного зазора, что, в свою очередь, приводит к появлению выходного напряжения датчика. В идеальном случае изначально магнитная ось статора должна совпадать с осью вала. Практически при установке датчика обеспечить это требование невозможно. В связи с этим погрешность установки ЭМС датчика относительно вала вносит свою долю погрешности в результирующую погрешность ИИС.

Аналитически погрешность измерения смещения вала p_{ss} при известной погрешности p_s установки ЭМС датчика может быть вычислена по формуле

$$p_{ss} = 0,946 p_s .$$

Своеобразной является зависимость погрешности определения направления смещения от ошибки установки соосности. Аналитическое выражение указанной погрешности (p_{ds}) представлено соотношением

$$p_{ds} = 10^3 (1,7465 p_s^3 - 0,1911 p_s^2 + 0,0068 p_s) .$$

Погрешность дискретности числа витков обмоток ЭМС

Количество витков секций обмоток ЭМС является целым числом. Однако расчетное количество витков секций, как правило, получается дробным. Если равномерно распределенная обмотка может иметь произвольное количество витков, то соотношение числа витков синусной и косинусной обмоток на каждом участке статора должно зависеть от пространственного угла.

Погрешность неточности изготовления пазов магнитопровода

Оценка влияния точности изготовления магнитопровода ЭМС на погрешность измерения биений вала позволяет найти оптимальный вариант точности изготовления зубчатых поверхностей статора при заданной погрешности ИИС. С помощью имитационной модели была получена зависимость погрешности измерения смещения оси вала и направления смещения от погрешности изготовления магнитопровода ЭМС.

Верхний и нижний пределы погрешности изготовления пазов определяют границы их размера, а не расположение его оси на линейке. В связи с этим будем полагать, что отклонение реального значения координаты оси паза от расчетного значения – величина случайная. Для учета этого предположения в разработанной модели ИИС используется генератор случайных чисел.

Результат моделирования погрешности измерения смещения (p_{sp}) оси вала от погрешности изготовления пазов ЭМС (p_p) показал, что она определяется соотношением

$$p_{sp} = 0,05 p_p .$$

Зависимость погрешности направления смещения (p_{dp}) от погрешности изготовления пазов определяется соотношением

$$p_{dp} = 0,225 p_p .$$

На этапе проектирования ЭМС точность изготовления пазов следует задавать значением поля допуска середин пазов.

Выводы

1. Использование традиционного метода анализа передаточной функции ИИС на основе ЭМС с продольным магнитным полем для определения ее погрешности является затруднительным в связи со сложностью математической формы записи передаточной функции и не позволяет выразить в явной форме влияние отдельных факторов на погрешность ИИС.

2. Количество факторов, влияющих на систематическую погрешность ИИС, велико и разнообразно, получить уравнение зависимости погрешности ИИС от суммарного их действия не представляется возможным.

3. Имитационная (математическая) модель ИИС представляет собой удобное средство анализа свойств, в частном случае погрешностей, средств измерения (преобразования), обладающих сложной функцией преобразования. При этом оказывается достаточно просто учитывать различные факторы, оказывающие влияние на конечную погрешность средства измерения. Обнаружение фактора, вносящего большую погрешность в результат измерения,

является сигналом, указывающим на необходимость внесения коррекции в структуре средства измерения либо ужесточения требований к составной части средства измерения, вносящего большую погрешность измерения.

4. С помощью имитационной модели показано, что большая часть факторов, влияющих на систематическую погрешность датчика биений вала на основе ЭМС с продольным магнитным полем, выражается линейной зависимостью, т.е. носит мультипликативный характер. Это справедливо как для погрешности смещения оси вала, так и для погрешности направления смещения.

Список литературы

1. **Осадчий, Е. П.** Проектирование датчиков для измерения механических величин / Е. П. Осадчий. – М. : Машиностроение, 1979. – 480 с.
2. **Горячев, В. Я.** Фазовые датчики механических величин с бегущим магнитным полем : моногр. / В. Я. Горячев. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 308 с.
3. **Новицкий, П. В.** Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 248 с.

References

1. **Osadchiy, Ye. P.** Proyektirovaniye datchikov dlya izmereniya mekhanicheskikh velichin / Ye. P. Osadchiy. – M. : Mashinostroyeniye, 1979. – 480 s.
2. **Goryachev, V. YA.** Fazovyye datchiki mekhanicheskikh velichin s begushchim magnitnym polem : monogr. / V. YA. Goryachev. – Penza : Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2005. – 308 s.
3. **Novitskiy, P. V.** Otsenka pogreshnostey rezul'tatov izmereniy / P. V. Novitskiy, I. A. Zograf. – L. : Energoatomizdat. Leningr. otd-niye, 1985. – 248 s.

Горячев Владимир Яковлевич

доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
автоматизированных
электроэнергетических систем,
Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: aees.psu@yandex.ru

Goryachev Vladimir Yakovlevich

Doctor of engineering sciences, associate
professor, head of sub-department
of automated electrical energy systems,
Penza State University
(Penza, 40 Krasnaya str.)

Гаврина Олеся Владимировна

аспирант, Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: aees.psu@yandex.ru

Gavrina Olesya Vladimirovna

Postgraduate student, Penza State
University (Penza, 40 Krasnaya str.)

Чапчиков Юрий Константинович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра автоматизированных
электроэнергетических систем,
Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: aees.psu@yandex.ru

Chapchikov Yuri Konstantinovich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of automated
electrical energy systems, Penza State
University (Penza, 40 Krasnaya str.)

Шатова Юлия Анатольевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра автоматизированных
электроэнергетических систем,
Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: aees.psu@yandex.ru

Shatova Yuliya Anatolyevna

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of automated
electrical energy systems, Penza
State University (Penza, 40 Krasnaya str.)

УДК 53.088.2

Горячев, В. Я.

Анализ систематической погрешности информационно-измерительной системы на основе датчика биений вала с бегущим магнитным полем / В. Я. Горячев, О. В. Гаврина, Ю. К. Чапчиков, Ю. А. Шатова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 46–57.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 539.2: 534.833

Д. В. Артамонов, М. А. Литвинов, А. Н. Литвинов

ДИНАМИКА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗДЕЛИЙ В ВИДЕ СЛОИСТЫХ ПАНЕЛЕЙ

Аннотация. Рассмотрены конструктивные элементы в виде панелей различной геометрии, на внутренней и внешней поверхностях которых расположены многослойные покрытия, состоящие из слоев различной жесткости. Предложенная математическая модель позволяет исследовать эффективность применения таких вибродемпфирующих покрытий и места их расположения для повышения виброустойчивости конструктивных элементов.

Ключевые слова: динамика, слоистая панель, конструктивный элемент, покрытие, вибродемпфирование.

D. V. Artamonov, M. A. Litvinov, A. N. Litvinov

DYNAMICS OF STRUCTURAL COMPONENTS IN THE FORM OF MULTILAYER PANELS

Abstract. The article considers structural components in the form of panels of various geometry with multilayer coatings composed of various rigidity layers on panels' interior and exterior surfaces. The offered mathematical model allows to analyze operational effectiveness and position of these vibrodamping coatings in order to raise vibration resistance of structural components.

Key words: dynamics, multilayer panel, structural component, coating, vibrodamping.

Введение

Панели являются частью замкнутых оболочек вращения и в зависимости от геометрии срединной поверхности оболочки могут быть цилиндрическими, коническими, сферическими и т.п. Они широко применяются в качестве несущих конструкций в авиационных, ракетно-космических и в специзделиях военного назначения, на которых крепятся блоки телеметрической, радиоэлектронной и иной аппаратуры, работающей в сложных условиях внешних динамических воздействий. Виброустойчивость панелей и аппаратуры, установленной на них, существенным образом определяет работоспособность и надежность изделий в целом в сложных условиях их эксплуатации [1, 2].

Для повышения виброустойчивости на внешних и внутренних поверхностях несущих панелей размещают многослойные покрытия из чередующихся мягких и жестких слоев, обеспечивающие эффективное демпфирование в широком частотном диапазоне [3, 4]. Таким образом, разработка мате-

математических моделей для анализа напряженно-деформированного состояния слоистых панелей и исследование их виброустойчивости является актуальной проблемой, решение которой позволяет на этапе проектирования выбрать оптимальные параметры слоев покрытий и места их расположения для обеспечения требуемого уровня виброустойчивости конструкции.

1. Основные уравнения динамики многослойных панелей

В реальных конструкциях часто используются незамкнутые многослойные оболочки, которые называют панелями. На рис. 1, 2 показаны цилиндрические, сферические и конические панели, на поверхностях которых в самом общем случае расположены многослойные вибродемпфирующие покрытия, имеющие толщины H_j . Индекс $j = -1$ соответствует внутреннему, а $j = +1$ – внешнему покрытиям (в дальнейшем единицу в индексе j будем опускать, оставляя только знаки + или –).

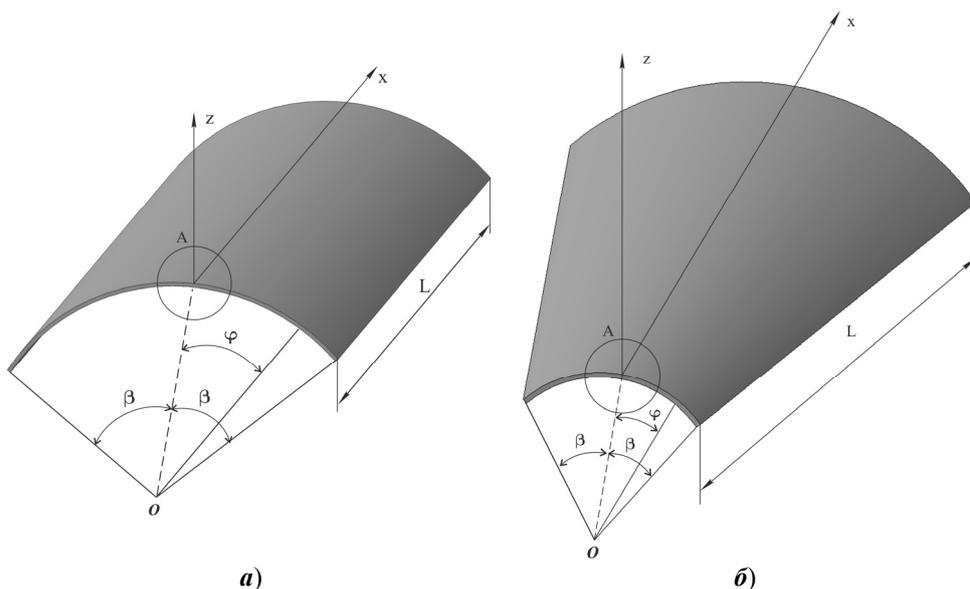


Рис. 1. Панели: *a* – цилиндрическая; *б* – коническая

Каждое покрытие состоит из чередующихся мягких и жестких слоев по классификации, приведенной в [3]. Для жестких слоев приняты гипотезы Кирхгофа – Лява, а мягкие слои работают на сдвиг и являются вязкоупругими, т.е. обеспечивают демпфирование колебаний за счет развитых деформаций сдвига. Диссипативные свойства мягких слоев характеризуются комплексными модулями для их материалов $G_k^* = G_k (1 + i\eta_k)$. Здесь G_k – динамический модуль сдвига, а η_k – тангенс потерь, которые зависят от температурно-частотного диапазона, в котором эксплуатируется конструкция [3]. Трансверсальную податливость мягких слоев не учитываем, считая, что их обжатие в направлении оси x_3 (см. рис. 1) отсутствует, а перемещения в направлении этой оси для всех жестких слоев являются одинаковыми, т.е. $u_3^{(k)} = w$. Свойства жестких слоев характеризуются модулем упругости E_k и коэффициентом Пуассона μ .

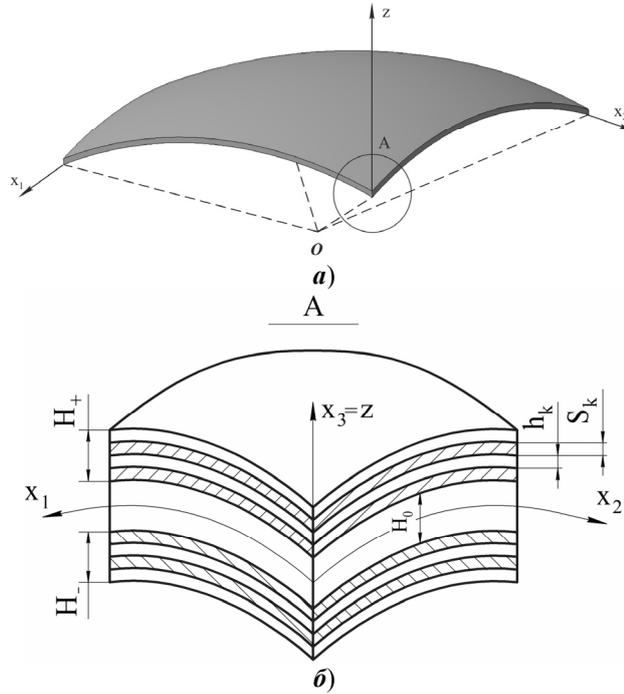


Рис. 2. Сферическая панель (а); фрагмент слоистой структуры панели (б)

Сохраняя все обозначения, принятые в работе авторов [5], получим $[2(n_+ + n_-) + 1]$ уравнений колебаний панелей с многослойными покрытиями, содержащими n_+ и n_- жестких слоев во внешнем и внутреннем покрытии соответственно:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{H_1^{(k)} H_2^{(k)}} \left[\frac{\partial}{\partial x_1^{(k)}} \left(N_{11}^{(k)} H_2^{(k)} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2^{(k)}} \left(N_{12}^{(k)} H_1^{(k)} \right) + \frac{\partial H_1^{(k)}}{\partial x_2^{(k)}} N_{21}^{(k)} - \frac{\partial H_2^{(k)}}{\partial x_1^{(k)}} N_{22}^{(k)} \right] - \\ & - K_1^{(k)} Q_1^{(k)} - t_k' \frac{H_1^{(k)}}{s_k H_1^{[k]}} Q_1^{[k]} + t_k'' \frac{H_1^{(k)}}{s_{k-1} H_1^{[k-1]}} Q_1^{[k-1]} - \\ & - 2K_1^{(k)} H_1^{(k)} \left(t_k' \frac{c_k' Q_1^{[k]}}{s_k H_1^{[k]}} + t_k'' \frac{c_{k-1}'' Q_1^{[k-1]}}{s_{k-1} H_1^{[k-1]}} \right) - \rho_k h^{(k)} \frac{\partial^2 u_1^{(k)}}{\partial t^2} - \\ & - \frac{1}{4} \left[\rho_{[k]} s_k t_k' \left(\frac{\partial^2 u_1^{(k+1)}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 u_1^{(k)}}{\partial t^2} \right) + \rho_{[k-1]} s_{k-1} t_k'' \left(\frac{\partial^2 u_1^{(k)}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 u_1^{(k-1)}}{\partial t^2} \right) \right] = 0; \\ & \frac{1}{H_1^{(k)} H_2^{(k)}} \left[\frac{\partial}{\partial x_2^{(k)}} \left(N_{22}^{(k)} H_1^{(k)} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1^{(k)}} \left(N_{21}^{(k)} H_2^{(k)} \right) + \frac{\partial H_2^{(k)}}{\partial x_1^{(k)}} N_{12}^{(k)} - \frac{\partial H_1^{(k)}}{\partial x_2^{(k)}} N_{11}^{(k)} \right] - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -K_2^{(k)} Q_2^{(k)} - t'_k \frac{H_2^{(k)}}{s_k H_2^{[k]}} Q_2^{[k]} + t''_k \frac{H_2^{(k)}}{s_{k-1} H_2^{[k-1]}} Q_2^{[k-1]} - \\
 & -2K_2^{(k)} H_2^{(k)} \left(t'_k \frac{c'_k Q_2^{[k]}}{s_k H_2^{[k]}} + t''_k \frac{c''_{k-1} Q_2^{[k-1]}}{s_{k-1} H_2^{[k-1]}} \right) - \rho_k h^{(k)} \frac{\partial^2 u_2^{(k)}}{\partial t^2} - \\
 & - \frac{1}{4} \left[\rho_{[k]} s_k t'_k \left(\frac{\partial^2 u_2^{(k+1)}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 u_2^{(k)}}{\partial t^2} \right) + \rho_{[k-1]} s_{k-1} t''_k \left(\frac{\partial^2 u_2^{(k)}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 u_2^{(k-1)}}{\partial t^2} \right) \right] = 0 \quad (1) \\
 & (k = 0, j, 2j, \dots, jn_j; j = \pm 1);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k=-n_-}^{n_+} \left(K_1^{(k)} N_{11}^{(k)} + K_2^{(k)} N_{22}^{(k)} + \frac{1}{H_1^{(k)} H_2^{(k)}} \left[\frac{\partial}{\partial x_1^{(k)}} (Q_1^{(k)} H_2^{(k)}) + \frac{\partial}{\partial x_2^{(k)}} (Q_2^{(k)} H_1^{(k)}) \right] - \right. \\
 & - \left(t'_k s_k^{-1} N_{[k]} - t''_k s_k^{-1} N_{[k-1]} \right) + \frac{1}{H_1^{(k)} H_2^{(k)}} \frac{\partial}{\partial x_1^{(k)}} \left[\left(t'_k \frac{c'_k Q_1^{[k]}}{s_k H_1^{[k]}} + \right. \right. \\
 & \left. \left. + t''_k \frac{c''_{k-1} Q_1^{[k-1]}}{s_{k-1} H_1^{[k-1]}} \right) H_1^{(k)} H_2^{(k)} \right] + \frac{1}{H_1^{(k)} H_2^{(k)}} \frac{\partial}{\partial x_2^{(k)}} \left[\left(t'_k \frac{c'_k Q_2^{[k]}}{s_k H_2^{[k]}} + \right. \right. \\
 & \left. \left. + t''_k \frac{c''_{k-1} Q_2^{[k-1]}}{s_{k-1} H_2^{[k-1]}} \right) H_1^{(k)} H_2^{(k)} \right] \left. \right) + m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = q. \quad (2)
 \end{aligned}$$

Здесь m – распределенная масса всей многослойной структуры с учетом несущей панели $m = \sum_{k=-n_-}^{n_+} (\rho_k h_k + \rho_{[k]} s_k)$, где ρ_k , $\rho_{[k]}$ – плотность материа-

лов жестких и мягких слоев соответственно; q – интенсивность внешней нормальной нагрузки по оси z . Все остальные обозначения соответствуют обозначениям, принятым в [5]. Выражения для перерезывающих усилий в жестких $Q_\alpha^{(k)}$ и мягких $Q_\alpha^{[k]}$ слоях, продольные усилия $N_{\alpha\beta}^{(k)}$ и изгибающие моменты $M_{\alpha\beta}^{(k)}$, входящие в уравнения, определяются соответствующими формулами работы [5] при $\alpha, \beta = 1, 2$. Компоненты тензора деформаций сдвига в мягких слоях записываются в виде

$$\epsilon_{\alpha 3}^{[k]} = \frac{1}{2} s_k^{-1} \left[\frac{c}{H_\alpha^{(k)}} \frac{\partial w}{\partial x_\alpha} + \left(u_\alpha^{(k+1)} - u_\alpha^{(k)} \right) - 2K_\alpha^{(k)} \left(c''_k u_\alpha^{(k+1)} + c'_k u_\alpha^{(k)} \right) \right]; \quad \epsilon_{33}^{[k]} = 0, \quad (3)$$

где $c_k = c'_k + c''_k = s_k + 0,5(h_k + h_{k+1})$ – расстояние между срединными поверхностями двух соседних жестких слоев.

В тех случаях, когда покрытия являются регулярными, необходимо положить $s_k = s_j$; $h_k = h_j$; $G_k = G_j$; $\eta_k = \eta_j$; $E_k = E_j$; $\mu_k = \mu_j$ для $k = j, 2j, \dots, jn_j$.

Если внешнее и внутреннее покрытия являются регулярными и изготовлены из одних и тех же материалов, то во всех уравнениях и расчетных формулах следует положить $s_k = s$; $h_k = h$; $G_k = G$; $\eta_k = \eta$; $E_k = E$; $\mu_k = \mu$ при $k = j, 2j, \dots, jn_j$ ($j = \pm 1$). В этом случае уравнения (1) и (2) существенно упрощаются.

Необходимо отметить, что уравнения колебаний (1), (2) учитывают изменения метрики панели при переходе от слоя к слою. Это свидетельствует о том, что уравнения описывают динамические процессы в слоистой структуре при любой толщине покрытий.

В тех случаях, когда покрытия имеют небольшую толщину ($H_j < H_0$), возможны дальнейшие упрощения уравнений, основанные на введении средних радиусов кривизны для каждого из покрытий или для всего пакета (панель с покрытиями), как это вводилось для замкнутых оболочек различной геометрии [3, 5].

2. Частные случаи уравнений колебаний слоистых панелей

Для частных случаев панелей с вибродемпфирующими покрытиями (см. рис. 1, 2) в уравнения (1), (2) и соответствующие соотношения для перерезывающих и продольных усилий, изгибающих моментов и деформаций слоев слоистой структуры следует ввести выражения для параметров Ламэ H_1, H_2 и главных кривизн K_1, K_2 . Применительно к рассматриваемым типам панелей значения этих параметров приведены в табл. 1. При этом для конической панели принята система координат, введенная в [5], где α – угол полураствора полного конуса, соответствующего рассматриваемой конической панели. Для сферической панели под α понимаем угол широты в сферической системе координат [3].

Таблица 1

Параметры панелей

| Тип панели | Постоянные Ламэ | | Главные кривизны | |
|----------------|-----------------|--------------------------------------|------------------|-------------|
| | $H_1^{(k)}$ | $H_2^{(k)}$ | $K_1^{(k)}$ | $K_2^{(k)}$ |
| Цилиндрическая | 1 | R_k | 0 | R_k^{-1} |
| Сферическая | R_k | $R_k \sin \alpha$ | R_k^{-1} | R_k^{-1} |
| Коническая | 1 | $x \sin \alpha + 0,5(h_k + h_{k+1})$ | 0 | R_k^{-1} |

При решении задач по моделированию динамики многослойных панелей необходимо поставить граничные условия для жестких слоев на кромках панелей в принятой системе координат. Например, для цилиндрической (см.

рис. 1,а) и конической (см. рис. 1,б) необходимо удовлетворить граничным условиям при $x=0$; L и $\varphi = \pm\beta$, аналогично расчетам для многослойных пластин и замкнутых оболочек [3, 6].

Реальные несущие конструкции могут иметь достаточно сложную геометрию и подкрепляться набором ребер жесткости. Кроме того, из конструктивных и технологических соображений покрытие может наноситься не на всю поверхность несущей конструкции, а на ее отдельные части, что существенно усложняет динамический расчет гетерогенной системы. В этом случае особо важное значение приобретают приближенные методы расчета, позволяющие достаточно точно оценивать эффективность применения вибродемпфирующих покрытий в сложных гетерогенных системах. В то же время эти методы должны быть относительно просты для их практического использования в инженерных расчетах. В таких случаях для моделирования динамических процессов в слоистой структуре и исследования эффективности применения слоистых вибродемпфирующих покрытий рекомендуется применять методiku, изложенную в работе [7], основанную на приближенной аппроксимации полей перемещений несущей конструкции в зонах расположения покрытий.

3. Численные исследования

В качестве примера рассмотрим цилиндрическую панель с покрытиями, на внешнем контуре которой обеспечиваются граничные условия Навье [3].

Решение уравнений (1) и (2) в перемещениях с учетом выражений для K_α и H_α (см. табл. 1), удовлетворяющее граничным условиям, записывается в виде

$$\begin{aligned} u_1^k = v_k &= \sum_{m_1=1}^{\infty} \sum_{m_2=0}^{\infty} U_{km_1m_2} \cos\left(\frac{\pi m_1}{L} x\right) \cos\left(\frac{m_2 \varphi}{\beta}\right), \\ u_2^k = v_k &= \sum_{m_1=1}^{\infty} \sum_{m_2=0}^{\infty} V_{km_1m_2} \sin\left(\frac{\pi m_1}{L} x\right) \sin\left(\frac{m_2 \varphi}{\beta}\right), \\ u_3^k = w &= \sum_{m_1=1}^{\infty} \sum_{m_2=0}^{\infty} W_{m_1m_2} \sin\left(\frac{\pi m_1}{L} x\right) \cos\left(\frac{m_2 \varphi}{\beta}\right). \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь $U_{km_1m_2}$, $V_{km_1m_2}$, $W_{m_1m_2}$ – амплитуды перемещений, соответствующие форме собственных колебаний, которая характеризуется целыми положительными числами m_1 и m_2 .

Определение поля перемещений и деформаций в слоях покрытий и несущей панели строятся аналогично работе [6]. Эффективность демпфирования панели оценивается относительным рассеянием энергии при свободных колебаниях ψ .

В качестве примера на рис. 3 показаны зависимости относительного рассеяния энергии $\bar{\psi} = \psi/2\pi\eta$ от безразмерного параметра сдвига $g = G(1 - \mu^2)/E$ для мягких слоев покрытия. Результаты расчета приведены

для расположения регулярного покрытия на внешней поверхности панели при $H = 0,2H_0$; $n = 1$; $s = h$; $L/R_0 = 5$; $e = E(1 - \mu_0^2)/E_0(1 - \mu^2)$; $H_0/R_0 = 10^{-2}$; $\mu = \mu_0 = 0,3$. Расчет выполнен для формы колебаний, которая характеризуется параметрами $m_1 = 1$ и $m_2 = 3$ и соответствует минимальной собственной частоте несущей панели. Тангенс потерь принят равным $\eta = 0,3$. Сплошными линиями показаны результаты вычислений для полной замкнутой цилиндрической оболочки, а пунктирными линиями – для панели, окружной размер которой соответствует $\beta = 45^\circ$ (см. рис. 1).

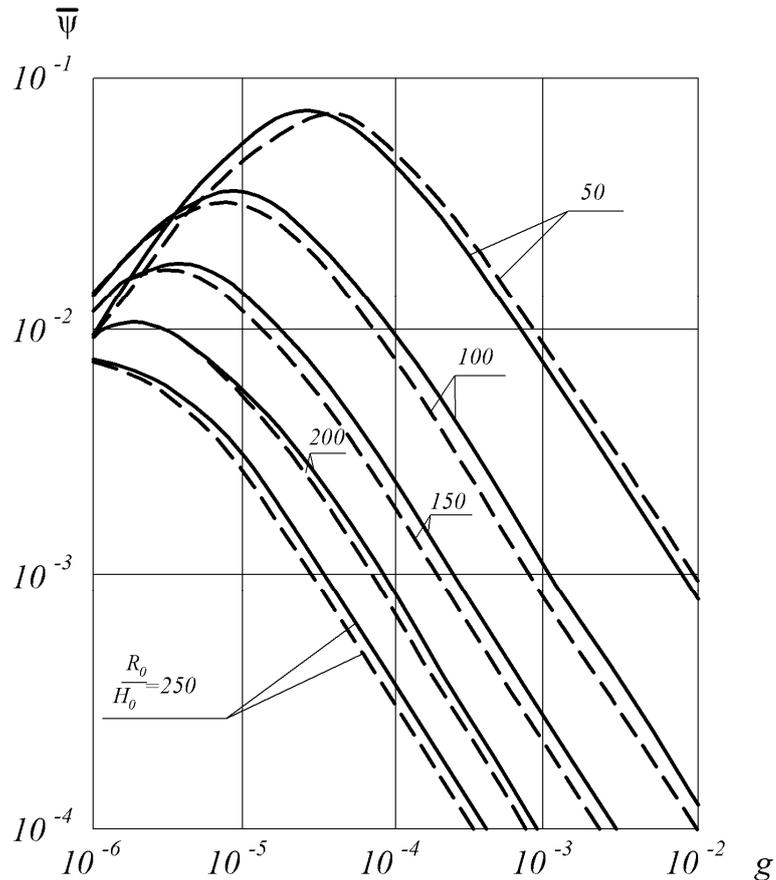


Рис. 3. Влияние кривизны оболочки на эффективность демпфирования

На рис. 4 для этой же панели, которая характеризуется относительной кривизной $R_0/H_0 = 100$, представлены зависимости характеристики демпфирования $\bar{\Psi}$ от коэффициента армирования $\alpha = h/(h + s)$ при различных значениях параметра сдвига g .

Из представленных результатов следует, что эффективность демпфирования панели и замкнутой оболочки существенно зависят от параметра сдвига g , относительной кривизны R_0/H_0 несущей оболочки и коэффициента армирования в покрытии. Увеличение относительной кривизны приводит

к увеличению характеристики демпфирования. Максимальное демпфирование обеспечивается при коэффициенте армирования в покрытии $\alpha = 0,4 \dots 0,7$.

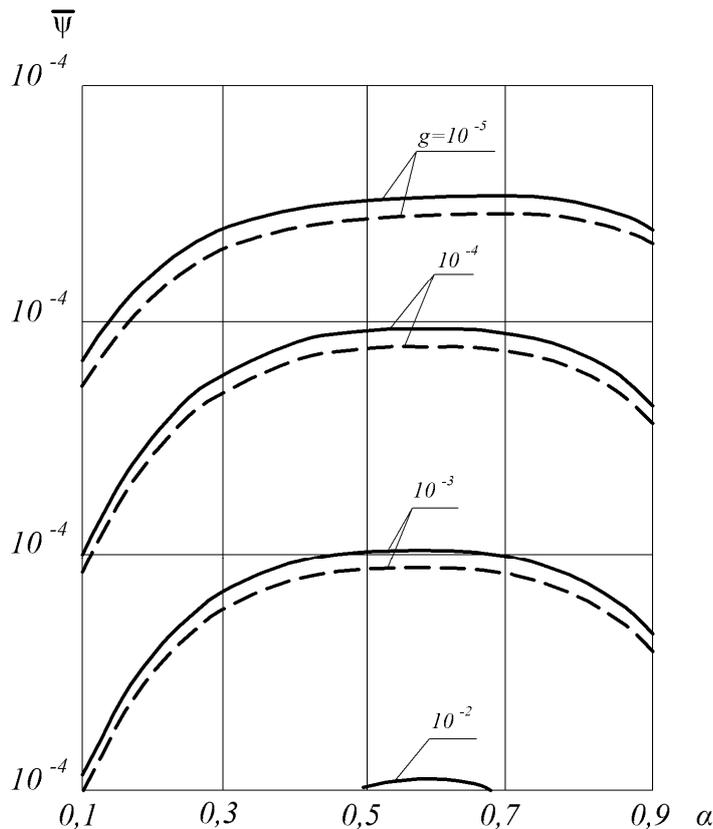


Рис. 4. Влияние коэффициента армирования на характеристику демпфирования

Полученные результаты показывают наличие оптимальных параметров покрытий, обеспечивающих максимум демпфирования в исследуемой конструкции, величина и положение которой существенно зависит от кривизны несущей оболочки и параметра сдвига g . Проведенные численные исследования показали, что независимо от геометрии несущей панели, внутреннее расположение покрытий является более эффективным, так как при этом увеличивается кривизна слоев покрытий и сдвиговые деформации мягких слоев, приводящие к увеличению диссипации энергии при динамическом воздействии.

Заключение

В работе представлена математическая модель, описывающая динамику многослойных панелей различной конфигурации, которые находят применение в качестве конструктивных элементов широкого спектра специзделий различного назначения и существенным образом определяющих надежность этих изделий.

Предложенная модель позволяет на этапе проектирования специзделий выполнить теоретическое моделирование динамических процессов, происхо-

дящих в их многослойных элементах и обеспечить требуемую виброустойчивость в режимах их эксплуатации.

Список литературы

1. Динамика гетерогенных структур. Моделирование гетерогенных структур преобразователей информации ракетно-космических систем / В. А. Васильев, Н. И. Волчихина, В. В. Смогунов ; под общ. ред. В. В. Смогунова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 468 с.
2. **Гадымов, Г. П.** Композиционные материалы в ракетно-космическом аппаратоостроении / Г. П. Гадымов, Е. В. Мешков и др. : под общ. ред. Г. П. Гадымова. – СПб. : СпецЛит, 1999. – 271 с.
3. **Литвинов, А. Н.** Моделирование динамических процессов в изделиях приборостроения : моногр. / А. Н. Литвинов – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2011. – 196 с.
4. **Литвинов, А. Н.** Эффективность демпфирования оболочек при помощи многослойных покрытий / А. Н. Литвинов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Сер. Технические науки. – 2005. – № 5. – С. 178–191.
5. **Артамонов, Д. В.** Динамика конических оболочек с многослойными покрытиями / Д. В. Артамонов, А. Н. Литвинов, М. А. Литвинов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 4. – С. 135–144.
6. **Литвинов, А. Н.** Исследование эффективности вибродемпфирования цилиндрических оболочек многослойными покрытиями / А. Н. Литвинов // Надежность и качество : тр. междунар. симп. : в 2 т. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2005. – Т. 2. – С. 127–129.
7. **Литвинов, А. Н.** Методы расчета эффективности применения гетерогенных вибродемпфирующих покрытий для несущих конструкций сложной формы / А. Н. Литвинов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 4. – С. 160–171.

References

1. Dinamika geterogennykh struktur. Modelirovaniye geterogennykh struktur preobrazovateley informatsii raketno-kosmicheskikh sistem / V. A. Vasil'yev, N. I. Volchikhina, V. V. Smogunov ; pod obshch. red. V. V. Smogunova. – Penza : Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2004. – 468 s.
2. **Gadymov, G. P.** Kompozitsionnyye materialy v raketno-kosmicheskom apparatostroyenii / G. P. Gadymov, Ye. V. Meshkov i dr. : pod obshch. red. G. P. Gadymova. – SPb. : SpetsLit, 1999. – 271 s.
3. **Litvinov, A. N.** Modelirovaniye dinamicheskikh protsessov v izdeliyakh priborostroyeniya : monogr. / A. N. Litvinov – Penza : Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2011. – 196 s.
4. **Litvinov, A. N.** Effektivnost' dempfirovaniya obolochek pri pomoshchi mnogoslonykh pokrytiy / A. N. Litvinov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Ser. Tekhnicheskkiye nauki. – 2005. – № 5. – S. 178–191.
5. **Artamonov, D. V.** Dinamika konicheskikh obolochek s mnogoslonymi pokrytiyami / D. V. Artamonov, A. N. Litvinov, M. A. Litvinov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskkiye nauki. – 2012. – № 4. – S. 135–144.
6. **Litvinov, A. N.** Issledovaniye effektivnosti vibrodempfirovaniya tsilindrisheskikh obolochek mnogoslonymi pokrytiyami / A. N. Litvinov // Nadezhnost' i kachestvo : tr. mezhdunar. simp. : v 2 t. – Penza : Izd-vo PGU, 2005. – T. 2. – S. 127–129.

7. **Litvinov, A. N.** Metody rascheta effektivnosti primeneniya geterogennykh vibrodempfiruyushchikh pokrytiy dlya nesushchikh konstruktivnykh slozhnoy formy / A. N. Litvinov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskiye nauki. – 2009. – № 4. – S. 160–171.

Артамонов Дмитрий Владимирович

кандидат технических наук, профессор,
кафедра автономных информационных
и управляющих систем, Пензенский
государственный университет
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: dvamrcpk@pnzgu.ru

Artamonov Dmitry Vladimirovich

Candidate of engineering sciences,
professor, sub-department of autonomous
information and control systems,
Penza State University
(Penza, 40 Krasnaya str.)

Литвинов Максим Александрович

аспирант, Пензенский
государственный университет
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: pyr@pnzgu.ru

Litvinov Maxim Alexandrovich

Postgraduate student,
Penza State University
(Penza, 40 Krasnaya str.)

Литвинов Александр Николаевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра теоретической и прикладной
механики, заместитель декана
факультета заочного обучения,
Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: pyr@pnzgu.ru

Litvinov Alexander Nikolaevich

Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of theoretical and applied
mechanics, vice-dean of the faculty
of correspondence education,
Penza State University
(Penza, 40 Krasnaya str.)

УДК 539.2: 534.833

Артамонов, Д. В.

Динамика конструктивных элементов изделий в виде слоистых панелей / Д. В. Артамонов, М. А. Литвинов, А. Н. Литвинов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 58–67.

ВЫБОР МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПО ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ УРОВНЮ

Аннотация. Дана классификация мехатронных модулей, представлена обобщенная структура мехатронной системы, показана блочно-модульная система построения мехатронных модулей. Приведен комплекс взаимосвязанных методов: метод выбора аналога, метод оценки технического уровня, метод информационного моделирования, метод экономического обоснования целесообразности, создания и областей эффективного применения. Даны общие понятия аналога, прототипа, эквивалента, а также свойства изделия с помощью количественных и качественных показателей.

Ключевые слова: мехатронный модуль, мехатронные системы, мехатронные комплексы, технический уровень, аналог, прототип, эквивалент, качественные параметры, количественные параметры.

R. E. Asanov, M. G. Kosov, A. P. Kuznetsov

SELECTION OF MECHATRONIC MODULES ACCORDING TO ITS TECHNOLOGICAL LEVEL

Abstract. The article presents a classification of mechatronic modules, the generalized structure of a mechatronic system; describes a building block system of construction mechatronic modules. The authors adduce a complex of interrelated approaches: method of analogue selection, method of technical level estimation, method of information modeling, method of economic substantiation of sustainability, creation and fields of efficient implementation. The study describes general concepts of an analogue, a prototype, an equivalent, and also the features of a product by means of quantitative and qualitative indicators.

Key words: mechatronic module, mechatronic systems, mechatronic complexes, technological level, analog, prototype, equivalent, qualitative parameters, quantitative parameters.

Мехатронные модули (ММ) являются функциональными «кубиками», из которых затем можно компоновать сложные мехатронные системы. На рис. 1 представлена классификация мехатронных модулей по конструктивным признакам [1].

В дальнейшем мехатронные модули и системы объединяются в мехатронные комплексы на базе единых интеграционных платформ. Цель создания таких комплексов – добиться сочетания высокой производительности и одновременно гибкости технико-технологической среды за счет возможности ее реконфигурации.

Поступательное развитие от механики к электромеханике и далее к мехатронике и мехатронным системам обусловлено в первую очередь появлением новых микроэлектронных и информационных технологий.

Создание современных мехатронных систем сегодня немислимо без новых информационных технологий автоматизированного проектирования, компьютерного моделирования и управления сложными динамиче-

скими системами. Особую роль в развитии мехатроники играют интеллектуальные технологии и их приложения к задачам управления функциональными движениями. Основной отличительной чертой интеллектуальных технологий является возможность системной обработки знаний [2]. Построение компьютерного управления мехатронными системами на основе интеллектуальных технологий позволяет с высоким качеством выполнять сложные движения в условиях интенсивного изменения управляющих и возмущающих воздействий и неполной информации о внешней среде и объектах работ.

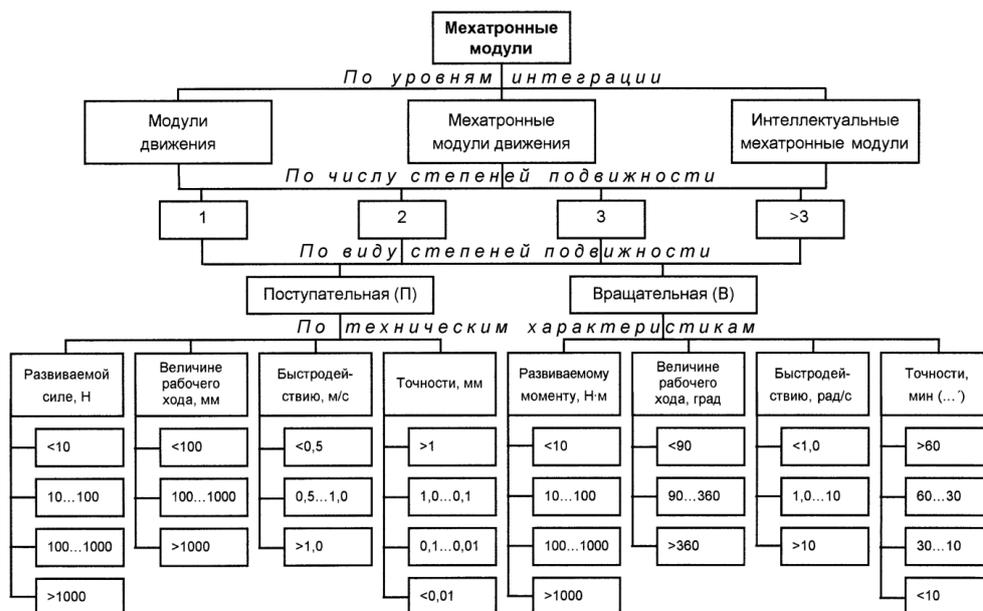


Рис. 1. Классификация мехатронных модулей

Высокая точность, предельное быстродействие, сложные законы перемещения выходного звена в пространстве и во времени определяются технологической постановкой задачи управления. При этом необходимо координировать управление пространственным перемещением МС с управлением различными внешними процессами. Примерами таких процессов могут служить: регулирование силового взаимодействия рабочего органа машины на объект при механообработке, управление дополнительными технологическими воздействиями (тепловыми, электрическими, электрохимическими) на объект при комбинированных методах обработки, управление вспомогательным оборудованием комплекса (конвейерами, загрузочными устройствами). На рис. 2 представлена обобщенная структура мехатронной системы [3].

В процессе выполнения МС функционального движения внешние объекты оказывают возмущающие воздействия именно на выходное звено, которое является конечным звеном механической части. Примерами таких воздействий могут служить силы резания для операций механообработки, контактные силы и моменты сил при сборке, сила реакции струи жидкости при операции гидравлической резки.

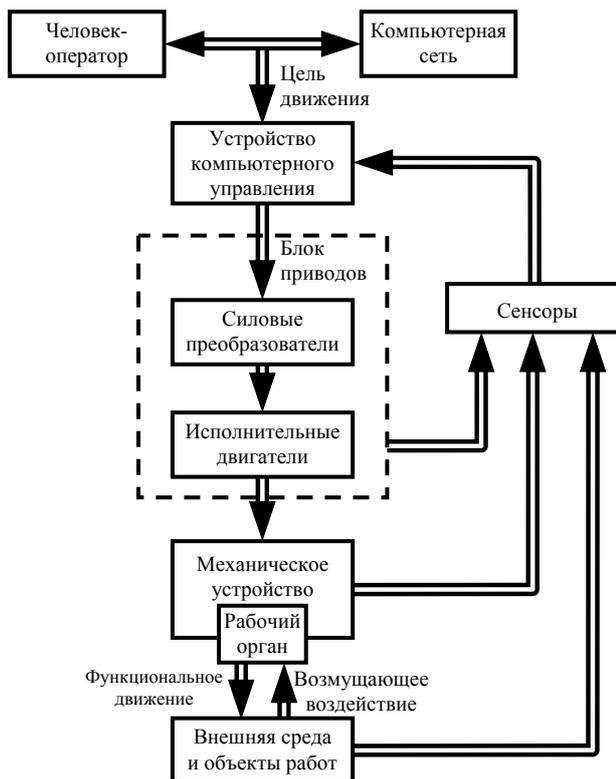


Рис 2. Обобщенная структура мехатронной системы

Следовательно, проектирование блока приводов, компьютерной системы управления и выбор сенсорных устройств мехатронных систем начинается с анализа свойств механической подсистемы как управляемого объекта и расчета возмущающих воздействий, обусловленных выполняемой МС технологической операцией.

Проектирование современных мехатронных систем основано на модульных принципах и технологиях. Мехатронные модули (ММ) служат в качестве конструктивных «кубиков» при компоновке многомерных мехатронных машин и комплексов.

На рис. 3 показана блочно-модульная система [4] присоединения к электродвигателю различных типов планетарных и цилиндрических редукторов, а также цифровых магнитных и цифровых фотоимпульсных датчиков. Во всем мире выпускают ежегодно миллионы штук мотор-редукторов различных типов и исполнения, что позволяет удовлетворить все мыслимые потребности клиентов.

Для создания современных технологических машин, предназначенных для автоматизированного машиностроения, необходимы разнообразные мехатронные модули движения, удовлетворяющие ряду требований: высокой точности реализации исполнительных движений, надежности, долговечности, возможности работы при наличии различных видов возмущений и в широком диапазоне температур окружающей среды, а также значительно меньшим массогабаритным показателям по сравнению с обычным электроприводом. Требования к развиваемым усилиям, точности и скорости исполнительных

движений диктуются особенностями автоматизируемой технологической операции, а требование минимизации размеров мехатронного модуля движения – необходимостью встраивания его в технологическую машину. Попытка синтеза мехатронного модуля движения из имеющихся в наличии серийно выпускаемых компонентов может привести к технически и экономически неэффективным решениям. Поэтому более рациональным является проектирование специализированного мехатронного модуля движения, наиболее полно отвечающего его служебному назначению.

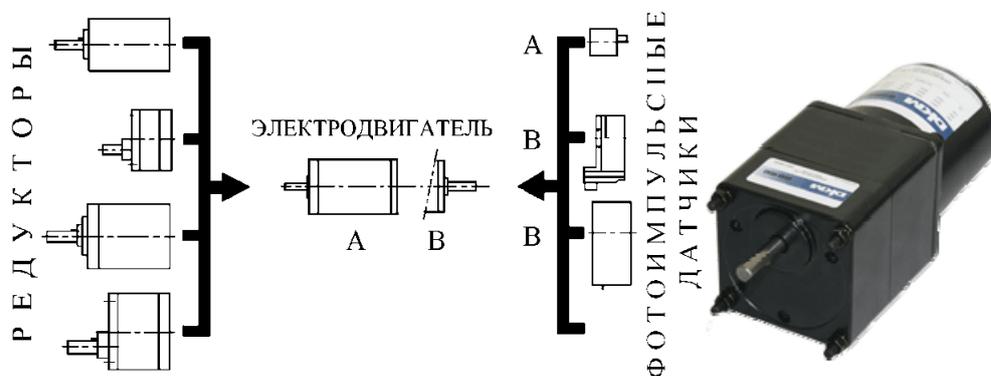


Рис. 3. Блочномодульная система мехатронного модуля

На разных этапах жизненного цикла изделия требуется и используется в настоящее время информация об аналогах и прототипах. Она необходима при проработке технического задания, разработке технического проекта, при испытании опытных образцов, проведении аттестационных и переаттестационных испытаний и во многих других случаях.

Оценивая объективность выбора аналога с точки зрения объективности используемой информации, объективности методического подхода, объективности и обоснованности применяемых информационных методов можно сделать следующие выводы:

1. Используемая в настоящее время информация об аналогах отражает уровень развития и состояние технического уровня сегодняшнего дня, если принять и согласиться с одним единственным, но весьма существенным допущением. Имеющаяся информация, на основе которой мы строим свои суждения, не обладает инерцией ни в отношении полноты ни в отношении сроков ее получения и использования по сравнению с моментом завершения разработки.

2. Если говорить об аналогах на вновь создаваемое изделие или оборудование, то необходимо также иметь в виду, и это уже сейчас практически никем не оспаривается, что к моменту серийного производства будет реально существовать такое новое изделие или оборудование, которое в той или иной степени по своим технико-экономическим показателям и характеристикам будет отличаться от ранее выбранного традиционными методами аналога.

Создание оборудования высокого технического уровня – сложная, важная и достаточно интересная научно-практическая задача, но как самостоятельный элемент ее решение не обеспечит конечного результата без решения одного небольшого и весьма щекотливого вопроса – это экономическое обос-

нование целесообразных областей применения, обоснование эффективности замены существующих образцов, обоснование объективной потребности в оборудовании.

3. Таким образом, для успешного решения поставленных вопросов необходимо рассматривать комплекс взаимосвязанных методов. К этим основным методам должны быть отнесены:

- методы выбора аналога;
- методы оценки технического уровня;
- методы информационного моделирования;
- методы экономического обоснования целесообразности создания и областей эффективного применения.

Иными словами, во всех случаях мы имеем дело с понятием **сравнение**. Для реализации этого понятия необходимо определить базу множества, на котором это понятие реализуемо, а затем из этой базы множества найти наиболее близкое (аналогичное) оборудование, т.е. должны быть определены объекты сравнения. Кроме того, сравнение двух и более образцов оборудования должно осуществляться достаточно корректно, относительно основных свойств, характеризуемых набором фактографических данных, которые в свою очередь должны быть систематизированы и упорядочены относительно их вида и содержания.

Рассмотрим основные и наиболее общие понятия и определения, которые положим в основу практической работы при поиске и сравнении оборудования. Понятие подобия в зависимости от степени различия основных свойств оборудования может иметь следующие оттенки (уровня сравнения):

- подобие в смысле аналога;
- подобие в смысле прототипа;
- подобие в смысле эквивалента.

Все указанные понятия подобия образуются и определяются степенью совпадения основных свойств оборудования. Очевидно, что для корректного и объективного определения понятия «АНАЛОГ», «ПРОТОТИП» и «ЭКВИВАЛЕНТ» необходимо достаточно строго и однозначно классифицировать содержательную сторону свойств оборудования как упорядоченной совокупности множества параметров и характеристик.

Основные свойства независимо от вида оборудования или изделия определяются как множество, состоящее из двух видов:

- множество качественных параметров и характеристик;
- множество количественных параметров и характеристик.

Тогда определить подобие оборудования – значит, найти такие операторы сравнения множеств параметров и характеристик, которые позволяют осуществлять операции над множествами. В простейшем случае этими операторами могут быть (операторы вычитания, деления, логические операторы и, или, не, операции булевой алгебры, оператора конечных автоматов и т.п.).

Следовательно, оборудование будет называться подобным, если не отличаются множества наименований качественных и количественных параметров и характеристик его основных свойств. Тогда справедливы следующие определения:

Определение 1. **Эквивалент** – такое оборудование, у которого не отличаются элементы множеств ни качественных, ни количественных параметров и характеристик основных свойств.

Определение 2. **Прототип** – такое оборудование, у которого не отличается минимум элементов-множеств качественных и количественных показателей и характеристик основных свойств.

Определение 3. **Аналог** – такое оборудование, у которого не отличается максимум элементов множеств качественных и количественных параметров и характеристик основных свойств.

Очевидно, что принятая система и метод выбора аналога вместе с вышеизложенными математическими операциями над множествами информационных массивов позволяют решать задачу объективного определения аналогов независимо от способа ее реализации: в ручном режиме или автоматизированном. На основе приведенной системы определений легко реализуется программный метод поиска аналогов, и тогда любой специалист на основе таблицы фактографических данных получит один и тот же результат.

Метод оценки технического уровня оборудования (изделия) базируется на использовании того же массива исходных данных: структурных элементов множеств качественных и количественных параметров и характеристик основных свойств. Это обусловило возможность при разработке метода предъявить к нему следующие требования:

- универсальность относительно вида оборудования (изделия);
- минимизация объема экспертной информации и ее разовое введение;
- содержательность определения понятия «технический уровень»;
- обоснованность определения степени соответствия технического уровня по отношению к аналогам;
- возможность устанавливать влияние отдельных параметров и характеристик на оценку технического уровня;
- простота использования, наглядность интерпретации;
- объективность и достоверность.

Единственным ограничением метода является наличие достаточно представительного массива исходных данных и экспертный выбор показателей до начала применения метода.

Метод базируется на трех основных определениях

Определение 1. Элементы множества качественных и количественных параметров и характеристик формируют N -мерное векторное пространство основных свойств.

Определение 2. Множество качественных или количественных параметров и характеристик оборудования не менее предпочтительно множеству параметров и характеристик оборудования m , если оно не имеет ни одного большего значения.

Определение 3. Граница технического уровня определяется элементами множества лучших при наличии худших.

Технический уровень оборудования определяется тем положительным эффектом, который достигается его применением при наименьших абсолютных или относительных (удельных) материальных, энергетических и экономических затратах. Следовательно, из множества сравниваемых единиц оборудования при одинаковом положительном эффекте технический уровень выше у того оборудования, у которого при прочих равных условиях наименьшие затраты.

Список литературы

1. **Егоров, О. Д.** Мехатронные модули. Расчет и конструирование : учеб. пособие / О. Д. Егоров, Ю. В. Подураев. – М. : МГТУ «Станкин», 2004. – 360 с.
2. **Маркова, И. М.** Интеллектуальные системы автоматического управления / И. М. Маркова, В. М. Лохина. – М. : Физматлит, 2001. – 156 с.
3. **Подураев, Ю. В.** Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем. Мехатроника : учеб. пособие / Ю. В. Подураев, В. С. Кулешов. – М. : МГТУ «Станкин», 2000. – 60 с.
4. **Подураев, Ю. В.** Основы мехатроники : учеб. пособие / Ю. В. Подураев. – М. : МГТУ «Станкин», 2000. – 80 с.

References

1. **Yegorov, O. D.** Mekhatronnyye moduli. Raschet i konstruirovaniye : ucheb. posobiye / O. D. Yegorov, YU. V. Podurayev. – M. : MGTU «Stankin», 2004. – 360 s.
2. **Markova, I. M.** Intelektual'nyye sistemy avtomaticheskogo upravleniya / I. M. Markova, V. M. Lokhina. – M. : Fizmatlit, 2001. – 156 s.
3. **Podurayev, YU. V.** Printsipy postroyeniya i sovremennyye tendentsii razvitiya mekhatronnykh sistem. Mekhatronika : ucheb. posobiye / YU. V. Podurayev, V. S. Kule-shov. – M. : MGTU «Stankin», 2000. – 60 s.
4. **Podurayev, YU. V.** Osnovy mekhatroniki : ucheb. posobiye / YU. V. Podurayev. – M. : MGTU «Stankin», 2000. – 80 s.

Асанов Руслан Энварович

ведущий инженер-конструктор,
ООО «ТяжПромЭлектроПроект»
(г. Москва, ш. Ленинградское, 18)

E-mail: asanov_ruslan@mail.ru

Asanov Ruslan Envarovich

Leading design engineer,
“TyazhPromElectroProyekt” Ltd.
(Moscow, 18 Leningrad highway)

Косов Михаил Георгиевич

доктор технических наук, профессор,
Московский государственный
технологический университет
«СТАНКИН» (г. Москва,
пер. Вадковский, 1)

E-mail: stankin-okm@yandex.ru

Kosov Mikhail Georgievich

Doctor of engineering sciences, professor,
Moscow State Technological University
“STANKIN” (Moscow, 1 Vadkovsky alley)

Кузнецов Александр Павлович

доктор технических наук, доцент,
Московский государственный
технологический университет
«СТАНКИН» (г. Москва,
пер. Вадковский, 1)

E-mail: stankin-okm@yandex.ru

Kuznetsov Alexander Pavlovich

Doctor of engineering sciences, associate
professor, Moscow State Technological
University “STANKIN”
(Moscow, 1 Vadkovsky alley)

УДК 621.865.8

Асанов, Р. Э.

Выбор мехатронных модулей по их технологическому уровню /
Р. Э. Асанов, М. Г. Косов, А. П. Кузнецов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 68–75.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ СПЛАВА КОБАЛЬТ-НИКЕЛЬ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭЛЕКТРОЛИЗА

Аннотация. Рассматривается электроосаждение сплава кобальт-никель при вибрации катода в магнитном поле, а также из электролита после магнитогидродинамической активации. Получены технологические и кинетические закономерности осаждения сплава, а также исследованы физико-механические свойства покрытий. Показано, что данные методы электролиза позволяют существенно повысить микротвердость и износостойкость получаемых покрытий, а также скорость электроосаждения.

Ключевые слова: электроосаждение, сплав, электролит, катод, технологические закономерности, кинетические закономерности, магнитогидродинамическая активация.

L. V. Naumov

REGULARITIES OF COBALT-NICKEL ALLOY ELECTRODEPOSITING IN VARIOUS MODES OF ELECTROLYSIS

Abstract. The article considers electrodeposition of cobalt-nickel alloy under cathode vibration in a magnetic field, and also from electrolyte after magnetohydrodynamic activation. The author obtains technological and kinetic regularities of alloy deposition and investigates physical and mechanical properties of platings. The given methods of electrolysis allow to substantially increase microhardness and wear resistance of the platings as well as the rate of electrodeposition.

Key words: electrodeposition, alloy, electrolyte, cathode, technological regularities, kinetic regularities, magnetohydrodynamic activation.

Введение

Сплав кобальт-никель благодаря высокой твердости, износостойкости, коррозионной стойкости, а также специальным магнитным свойствам широко применяется во многих отраслях промышленности: радиоэлектронике – в качестве магнитотвердого материала, машиностроении – для изготовления деталей пресс-форм и т.д.

В настоящее время разработано значительное количество электролитов для получения покрытий сплавом кобальт-никель, однако большинство электролитов по ряду технологических показателей (рабочая плотность тока, выход по току, рассеивающая способность, физико-механические свойства получаемых покрытий и др.) не соответствуют современным требованиям гальванического производства.

Для повышения производительности процесса и улучшения качества покрытий в гальваническом производстве применяют механическое перемешивание электролита. Однако при таком способе скорость движения ионов у поверхности катода по законам гидродинамики стремится к нулю, что приво-

дит к незначительному снижению диффузионных ограничений, т.е. эффективность такого перемешивания незначительна. Для достижения высокой эффективности перемешивания электролита вблизи катода предлагается использовать вибрацию катода и наложение на электролит магнитного поля.

В связи с этим наибольший интерес представляют методы получения покрытий при вибрации катода, наложении на электролит магнитного поля, а также из электролита после магнитогидродинамической активации. Применение таких методов позволяет повысить скорость осаждения за счет увеличения рабочей плотности тока, а также существенно улучшить качество и физико-механические свойства покрытий.

1. Исследование технологических закономерностей электроосаждения

Изучение закономерностей электроосаждения сплава кобальт-никель при различных режимах электролиза проводилось из сульфатного электролита (г/л): сульфат кобальта (на металл) – 30; сульфат никеля (на металл) – 25; кислота борная – 25; хлорид калия – 5; pH 4 – 5 [1, 2].

В ходе экспериментов были получены данные по влиянию различных технологических факторов на процесс электроосаждения сплава кобальт-никель.

Как видно из рис. 1, с увеличением концентрации никеля в электролите от 17 до 25 г/л при концентрации кобальта 30 г/л, плотности тока 1 А/дм², pH 4,5 и температуре 20 °С содержание никеля в сплаве значительно возрастает при всех режимах.

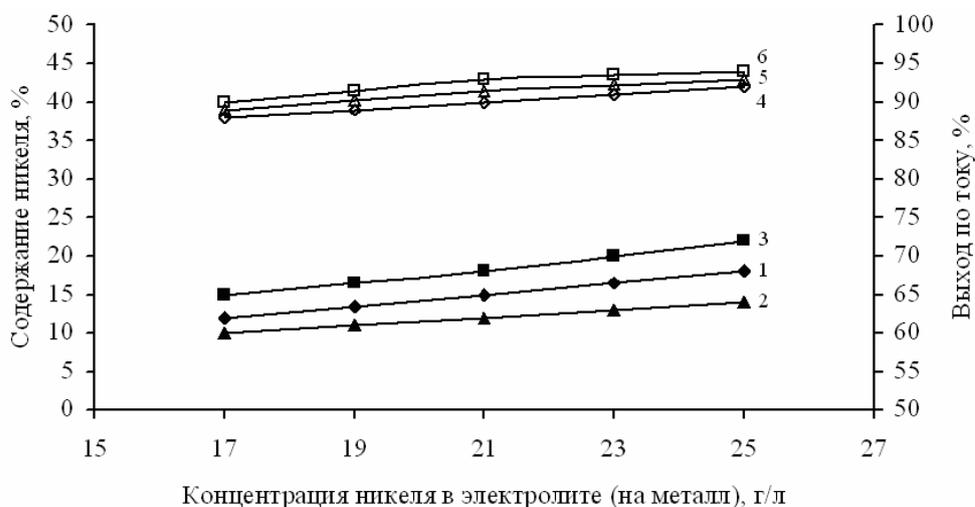


Рис. 1. Зависимость состава сплава и выхода по току от концентрации никеля в электролите при различных режимах электролиза. Содержание никеля в сплаве (кривые 1–3) и выход по току (кривые 4–6): 1 и 4 – постоянный ток; 2 и 5 – вибрация катода; 3 и 6 – наложение на электролит магнитного поля

При наложении на электролит магнитного поля содержание никеля в сплаве несколько повышается относительно стационарного режима осаждения. Вибрация катода, наоборот, приводит к увеличению кобальта в осадке.

Выход по току сплава зависит от концентрации никеля в электролите и от режима электролиза. С увеличением концентрации никеля в электролите выход по току повышается вследствие смещения потенциала выделения сплава в сторону положительных значений. Применение вибрации катода и магнитного поля также повышает выход по току относительно стационарного режима осаждения, особенно это проявляется при наложении на электролит магнитного поля.

При концентрации никеля в электролите от 17 до 25 г/л получают блестящие, хорошо сцепленные с основой покрытия.

С повышением плотности тока (рис. 2) содержание никеля в сплаве возрастает при всех режимах электролиза. Увеличение плотности тока приводит к смещению потенциала в более отрицательную сторону, и тем самым происходит увеличение доли тока, идущего на выделение никеля. Выход по току сплава с повышением плотности тока от 1 до 3 А/дм² также незначительно увеличивается. Это объясняется увеличением перенапряжения выделения водорода на сплаве вследствие увеличения содержания никеля. Дальнейшее увеличение плотности тока приводит к снижению выхода по току, что связано со смещением потенциала выделения сплава в область более отрицательных значений.

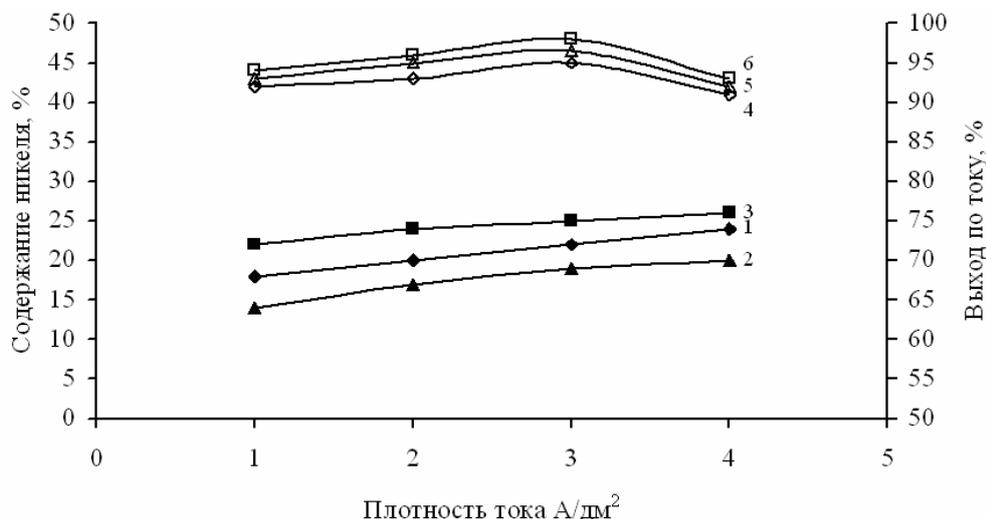


Рис. 2. Зависимость состава сплава и выхода по току от плотности тока при различных режимах электролиза. Содержание никеля в сплаве (кривые 1–3) и выход по току (кривые 4–6): 1 и 4 – постоянный ток; 2 и 5 – вибрация катода; 3 и 6 – наложение на электролит магнитного поля

На постоянном токе осадки получают блестящие при плотности тока от 1 до 1,5 А/дм². Применение вибрации катода и магнитного поля позволяет получать блестящие покрытия при плотностях тока 2–2,5 и 3–3,5 А/дм² соответственно.

С повышением температуры электролита от 20 до 40 °С содержание никеля в сплаве несколько увеличивается как на постоянном токе, так и при наложении на электролит магнитного поля. Вибрация катода несколько по-

нижает содержание никеля в осадке. Выход по току с увеличением температуры также повышается при всех режимах осаждения.

Состав сплава и выход по току зависит и от режима электролиза. При наложении на электролит магнитного поля содержание никеля в сплаве, по сравнению со стационаром, увеличивается на 2–3 %. Выход по току в магнитном поле также растет и стремится к 100 % (рис. 3).

Изменение pH электролита от 4 до 5 практически не оказывает влияние на состав сплава и выход по току (рис. 4).

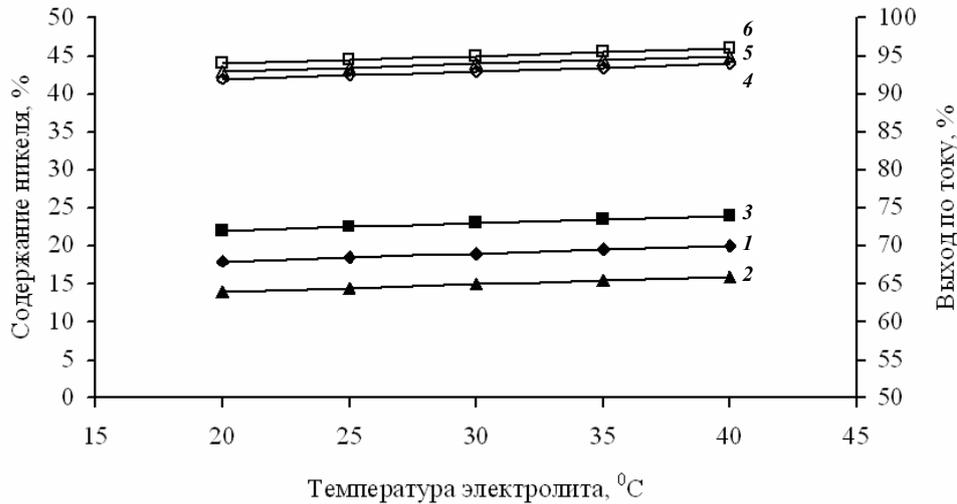


Рис. 3. Зависимость состава сплава и выхода по току от температуры электролита при различных режимах электролиза. Содержание никеля в сплаве (кривые 1–3) и выход по току (кривые 4–6): 1 и 4 – постоянный ток; 2 и 5 – вибрация катода; 3 и 6 – наложение на электролит магнитного поля

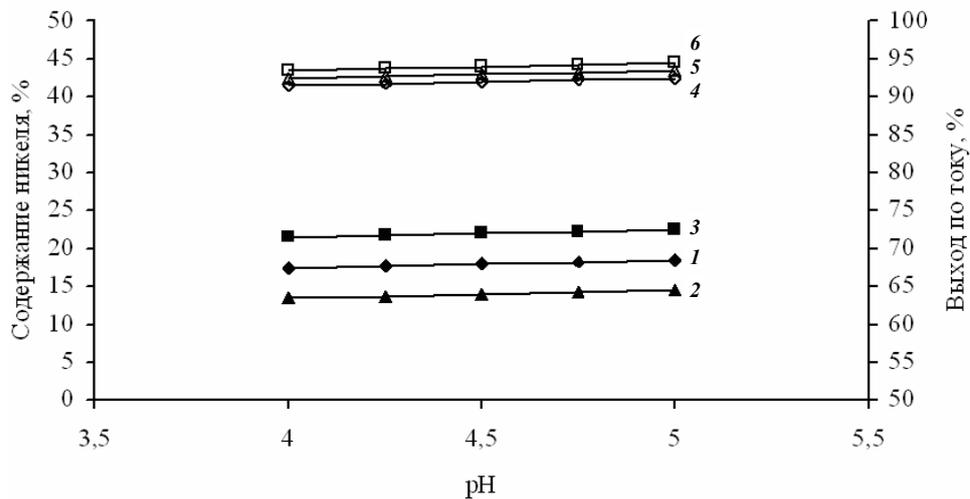


Рис. 4. Зависимость состава сплава и выхода по току от pH электролита при различных режимах электролиза. Содержание никеля в сплаве (кривые 1–3) и выход по току (кривые 4–6): 1 и 4 – постоянный ток; 2 и 5 – вибрация катода; 3 и 6 – наложение на электролит магнитного поля

2. Исследование кинетических закономерностей электроосаждения

Потенциодинамические исследования показали, что применение нестационарного электролиза существенно влияет на кинетику электроосаждения сплава кобальт-никель.

На рис. 5 представлены потенциодинамические поляризационные кривые выделения сплава кобальт-никель на постоянном токе (кривая 1), при вибрации катода (кривая 2), при наложении на электролит постоянного магнитного поля (кривая 3) и переменного магнитного поля (кривая 4).

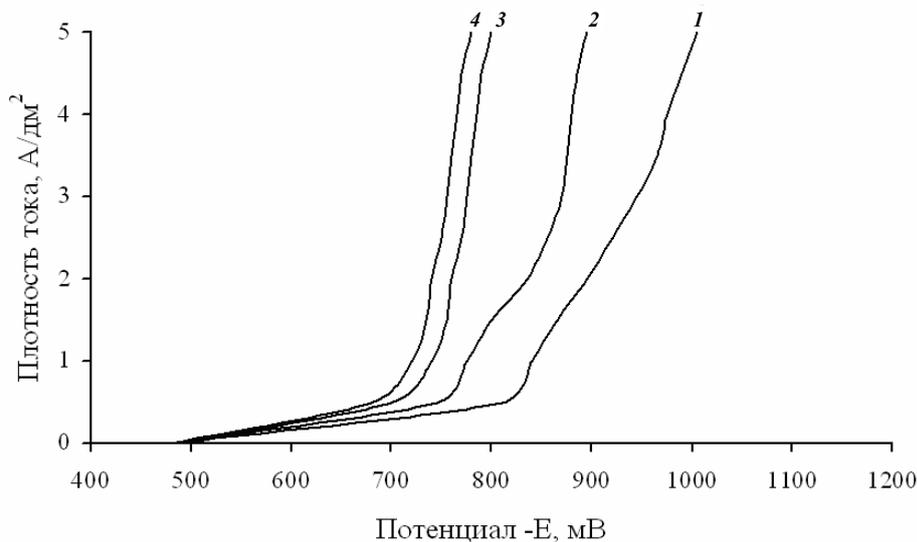


Рис. 5. Потенциодинамические поляризационные кривые выделения сплава кобальт-никель при различных режимах электролиза: 1 – постоянный ток; 2 – вибрация катода; 3 – постоянное магнитное поле; 4 – переменное магнитное поле

Как видно из рис. 5, максимальное воздействие на процесс разряда сплава кобальт-никель оказывает наложение на электролит переменного магнитного поля (кривая 4). В этом случае потенциодинамическая кривая выделения сплава смещается в сторону более положительных значений относительно стационарного режима электролиза на величину порядка 190 мВ при плотности тока 3 А/дм². При наложении на электролит постоянного магнитного поля (кривая 3) смещение потенциодинамической поляризационной кривой составляет 170 мВ. Электролиз с применением вибрации катода также приводит к деполяризации выделения сплава (кривая 2) относительно стационарного режима электролиза. Так, при плотности тока 3 А/дм² деполяризация составляет 75 мВ.

Смещение потенциодинамической кривой в область более положительных значений под действием магнитного поля, очевидно, связано с изменением структуры комплексных ионов и увеличением скорости их движения.

3. Исследование электроосаждения покрытий сплавом кобальт-никель из электролита после магнитогидродинамической активации

В процессе исследования технологических и кинетических зависимостей выявлено, что после магнитной обработки электролит сохраняет свои

свойства в течение 2–3 ч. В связи с этим разработана технология предварительной магнитогидродинамической активации электролита вне гальванической ванны, позволяющая вести процесс осаждения сплавов при повышенных плотностях тока.

На рис. 6 приведены потенциодинамические поляризационные кривые выделения сплава кобальт-никель при различных способах магнитной обработки электролита. Из рис. 6 видно, что поляризационная кривая, полученная из электролита, приготовленного на обработанной в магнитном поле воде (кривая 2), не отличается от поляризационной кривой, полученной на стационарном режиме (кривая 1), т.е. омагниченная вода практически не влияет на свойства электролита для осаждения сплава кобальт-никель. В то время как магнитная обработка электролита вне гальванической ванны сдвигает поляризационную кривую выделения сплава в область более положительных значений на 120 мВ (кривая 3), как и наложение на электролит магнитного поля (кривая 4).

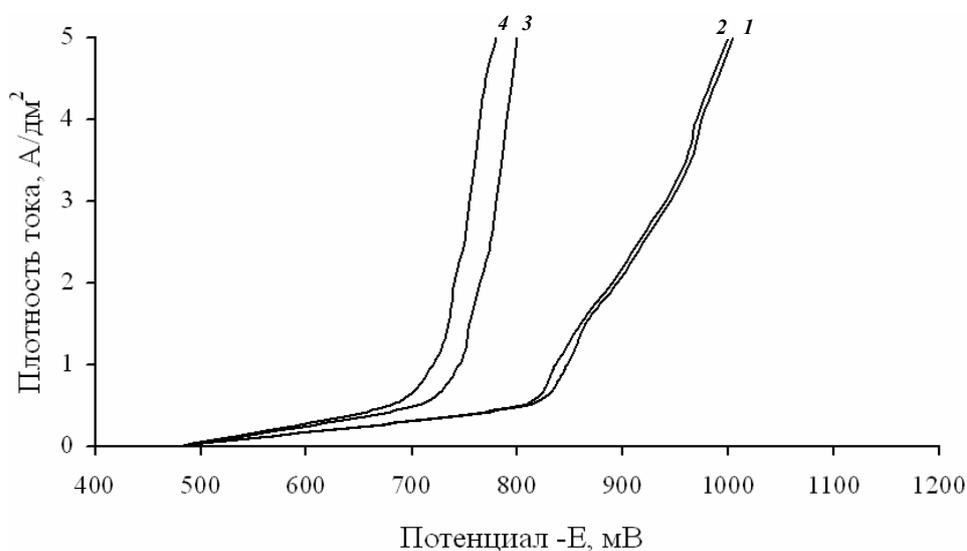


Рис. 6. Потенциодинамические поляризационные кривые выделения сплава кобальт-никель: 1 – на стационарном режиме; 2 – из электролита, приготовленного на намагниченной воде; 3 – из намагниченного электролита; 4 – в магнитном поле

Свойства электролита после магнитогидродинамической активации также аналогичны его свойствам в магнитном поле – наблюдается повышение электропроводности раствора.

На рис. 7 представлена принципиальная схема установки для магнитогидродинамической активации электролита.

Установка для магнитогидродинамической активации электролита включает в себя гальваническую ванну 3, регулируемый насос 4 и электромагнитное устройство. Электромагнитное устройство состоит из корпуса 5, в который помещен электромагнит. В зазоре между полюсами электромагнита расположены полимерные трубы 8, через которые циркулирует электролит. Активация осуществляется следующим образом. В начале процесса включают электромагнитное устройство (напряженность магнитного поля

80–200 кА/м) и насос для перекачивания электролита. После магнетогидродинамической активации всего объема электролита начинают процесс электролиза.

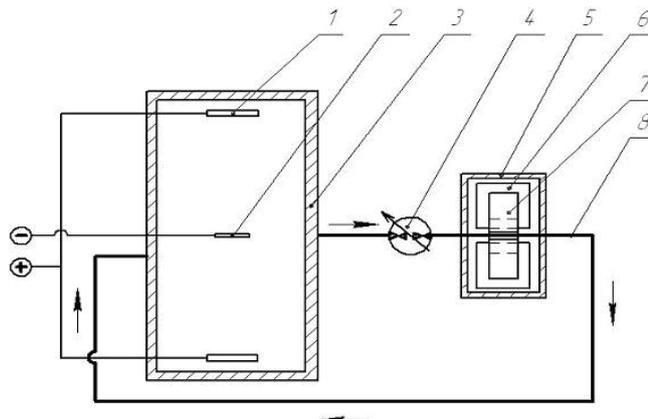


Рис. 7. Схема установки для магнетогидродинамической активации электролита:
1 – аноды; 2 – катод; 3 – гальваническая ванна; 4 – регулируемый насос;
5 – корпус; 6 – катушки; 7 – сердечник; 8 – трубопровод из полимерных труб

Магнетогидродинамическая активация электролита приводит к повышению плотности тока электроосаждения блестящих покрытий. Так, при покрытии из электролита после магнетогидродинамической активации блестящие покрытия осаждаются до плотности тока 4–4,5 А/дм², что в 2 раза выше, чем при осаждении из неактивированного электролита. При электроосаждении из электролита после магнетогидродинамической активации образуются осадки с более мелкозернистой и однородной структурой, что способствует получению блестящих покрытий.

Магнетогидродинамическая активация электролита увеличивает содержание никеля в сплаве и значительно повышает выход по току сплава по сравнению с электроосаждением из неактивированного электролита. Так, содержание никеля в сплаве при концентрации никеля в электролите 25 г/л, температуре электролита 20 °С, плотности тока электроосаждения 3 А/дм² и рН электролита 4,5 соответственно составляет: из электролита после магнетогидродинамической активации – 25 % и из неактивированного электролита – 22 %. Выход по току для оговоренных выше условий электроосаждения составляет: из электролита после магнетогидродинамической активации – 96 % и из неактивированного электролита – 92 %.

4. Исследование физико-механических свойств покрытий сплавом кобальт-никель

Микротвердость гальванических покрытий сплавом кобальт-никель, полученным при температуре 20 °С и рН электролита 4,5 в зависимости от плотности тока и режима осаждения, представлена в табл. 1.

Увеличение микротвердости осадков, полученных с применением вибрации катода, наложения на электролит магнитного поля и после магнетогидродинамической активации электролита объясняется получением при данных режимах электролиза более мелкозернистых покрытий.

Таблица 1

Влияние плотности тока и режима электролиза
на микротвердость покрытий сплавом кобальт-никель

| Плотность тока, А/дм ² | Микротвердость, ГПа | | | |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|
| | Стационарный режим | Вибрация катода | Магнитное поле | Магнито-гидродинамическая активация |
| 1 | 4,4 | 4,7 | 5,25 | 5,25 |
| 2 | 4,5 | 4,85 | 5,3 | 5,3 |
| 3 | 4,6 | 4,9 | 5,4 | 5,4 |
| 4 | 4,65 | 5,0 | 5,4 | 5,4 |

Исследование зависимости микротвердости осадков от плотности тока показало, что она незначительно повышается при увеличении плотности тока. Увеличение микротвердости, очевидно, связано с тем, что с ростом плотности тока происходит увеличение содержания никеля в сплаве.

Износостойкость покрытий сплавом кобальт-никель, полученным на стационарном режиме, вибрации катода, в магнитном поле и после магнитогиродинамической активации электролита толщиной 3 мкм и нагрузке на контакт 2Н соответственно равна: 90000, 100000, 115000, 115000 циклов. Все осадки получены при плотности тока 3 А/дм², температуре электролита 20 °С и рН 4,5.

Увеличение износостойкости покрытий, полученных при вибрации катода, в магнитном поле и после магнитогиродинамической активации электролита относительно покрытий, полученных на стационарном режиме, очевидно, связано с более мелкозернистой структурой сплавов, полученных с применением данных режимов электролиза.

Заключение

Магнитогиродинамическая активация вне гальванической ванны обеспечивает те же свойства электролита, что и наложение на электролит магнитного поля. При этом в 2 раза увеличивается рабочий диапазон плотности тока получения блестящих покрытий, повышается выход по току сплава, микротвердость, износостойкость и улучшается внешний вид покрытий относительно стационарного режима осаждения. На этот способ не влияют такие параметры, как размеры ванны и нахождение в электролите деталей для покрытия. Поэтому способ магнитогиродинамической активации вне гальванической ванны более технологичен в работе, чем наложение на электролит магнитного поля.

Список литературы

1. **Вячеславов, П. М.** Электрохимическое осаждение сплавов / П. М. Вячеславов. – Л. : Машиностроение, 1971. – 144 с.
2. **Вансовская, К. М.** Промышленная гальванопластика / К. М. Вансовская, Г. А. Волянюк. – Л. : Машиностроение, 1986. – 105 с.

References

1. **Vyacheslavov, P. M.** Elektrokhimicheskoye osazhdeniye splyavov / P. M. Vyacheslavov. – L. : Mashinostroyeniye, 1971. – 144 s.
2. **Vansovskaya, K. M.** Promyshlennaya gal'vanoplastika / K. M. Vansovskaya, G. A. Volyanyuk. – L. : Mashinostroyeniye, 1986. – 105 s.

Наумов Лев Васильевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра технологии машиностроения,
Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: lvn-25@yandex.ru

Naumov Lev Vasylyevich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of machine
building technology, Penza State University
(Penza, 40 Krasnaya str.)

УДК 621.357.504

Наумов, Л. В.

Закономерности электроосаждения сплава кобальт-никель при различных режимах электролиза / Л. В. Наумов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 76–84.

Н. Е. Курносов, А. В. Тарнопольский, А. С. Асосков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИХРЕВОЙ ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА

Аннотация. Рассматривается стойкость режущего инструмента, качество обработанной поверхности и температура в зоне резания при точении хромистой стали с применением охлаждения вихревым ионизатором.

Ключевые слова: резание металлов, температура в зоне резания, стойкость режущего инструмента, неровность поверхности.

N. E. Kurnosov, A. V. Tarnopol'skiy, A. S. Asoskov

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF MECHANICAL TREATMENT USING VORTICAL AIR IONIZATION

Abstract. The article considers cutting tool firmness, quality of processed surface, and temperature in a cutting zone in the process of chromic steel turning using vortical ionizer as a cooling application.

Key words: cutting of metals, temperature in a cutting zone, firmness of a cutting tool, surface roughness.

С момента появления механической обработки металлов на станках совершенствование оборудования и технологии шло непрерывно. Одной из решаемых при этом задач является повышение стойкости режущего инструмента без снижения качества обработанной поверхности.

Стойкость режущего инструмента зависит от многих факторов, одним из которых является температура в зоне резания. Снижение температуры в зоне резания способствует повышению стойкости режущего инструмента. Шероховатость обработанной поверхности связана с интенсивностью износа режущего инструмента и температурой в зоне резания. При высокой температуре материал заготовки становится пластичнее, что приводит к образованию наростов на передней поверхности инструмента, изменяя его геометрию и режущие свойства. Срыв наростов ухудшает качество обработанной поверхности. Таким образом, снижение температуры в зоне резания является важной задачей при механической обработке материалов [1–6].

Для решения данной проблемы применяют обдув сжатым воздухом, полив и распыление смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Ряд авторов предлагают использовать ионизированные газовые смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС), которые по некоторым показателям предпочтительнее [7–9]. Общим недостатком этих решений является необходимость использования двух источников энергии: сжатого воздуха и электрического тока.

Новым, более эффективным решением может стать охлаждение зоны резания ионизированными газами, подготовленными вихревым ионизатором (ВИ), для работы которого необходим только сжатый воздух из заводской пневмосети. Устройство представляет собой вихревую трубу с деталями из

диэлектриков. ВИ обеспечивает температуру выходного потока до минус $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ с концентрацией положительных аэроионов до $3,7 \times 10^{10}$ ед./м³ и отрицательных аэроионов до $2,4 \times 10^{10}$ ед./м³. Предварительные исследования концентрации аэроионов обоих знаков на выходном сопле ВИ показали, что влажность и давление воздуха для питания устройства оказывают существенное влияние на работоспособность последнего [10, 11].

Задачей исследований было оценить эффективность охлаждения режущего инструмента при обдуве сжатым воздухом, при поливе смазочно-охлаждающей жидкостью, при обдуве ионизированным воздухом и сравнить с обработкой без охлаждения. Эффективность охлаждения оценивалась по стойкости инструмента, шероховатости обработанной поверхности и температуре в зоне резания при режимах резания, соответствующих черновой и чистовой обработке.

Для проведения исследований был разработан и смонтирован стенд на токарно-винторезном станке МК 6056. Станок выбирался с учетом требуемой мощности резания, с возможностью монтажа вихревого устройства для подачи ионизированного воздуха. Схема стенда приведена на рис. 1.

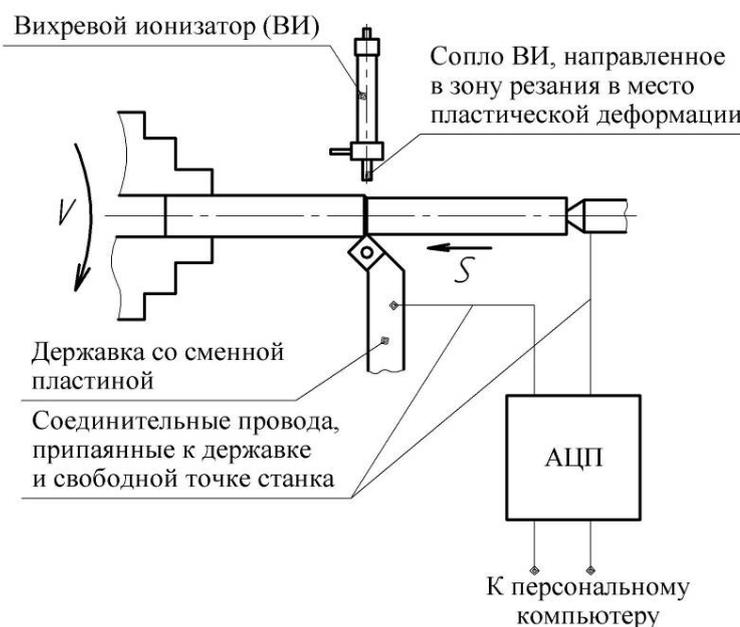


Рис. 1. Схема стенда для исследований

Для исследования использовались съемные твердосплавные квадратные прямые пластины сплава Т5К10 с диаметром описанной окружности $D = 18$ мм. Геометрические характеристики режущего инструмента: главный угол в плане $\phi = 45^{\circ}$, главный задний угол $\alpha = 10^{\circ}$, главный передний угол $\gamma = 10^{\circ}$, угол наклона режущей кромки $\lambda = 4^{\circ}$, упрочняющая фаска $f = 0,2$ мм.

В качестве образцов использовали прокат круглый из стали 40Х диаметром 95 мм и длиной 500 мм.

Работа ВИ обеспечивалась центральной цеховой пневматической сетью с промежуточным ресивером и газовым редуктором, давление воздуха под-

держивалось около 0,46 МПа. Эжекцией воды на входе в ВИ обеспечивали влажность нагнетаемого воздуха до 90 %.

Стойкость режущего инструмента оценивали по величине фаски износа на задней поверхности.

В качестве измерительного оборудования было использовано:

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Профилометр Абрис-ПМ7.

В качестве СОТС применялись: эмульсия 5 % на водной основе по рекомендациям [3], струя сжатого воздуха с температурой плюс 15–20 °С, струя ионизированного воздуха с температурой до минус 10 °С.

Исследование стойкости режущего инструмента и шероховатости обработанной поверхности выполнялось в следующей последовательности:

1. На станке устанавливался черновой режим резания: $t = 1,5$ мм, $s = 1$ мм/об, $n = 400$ мин⁻¹ [12]. При отсутствии охлаждения и установленном режиме прутки протачивались на длину $L = 400$ мм, после чего пластина менялась и проводилось измерение величины ее износа. Опыт повторялся на трех пластинах.

2. Выполнялась обработка при чистовом режиме: $t = 0,5$ мм, $s = 0,2$ мм/об, $n = 1000$ мин⁻¹ [12], после чего измерялась шероховатость обработанной поверхности по параметру среднего арифметического отклонения профиля (Ra). Затем менялся прутки.

3. Пункты 1 и 2 повторялись для охлаждения различными способами: сжатым воздухом, полив СОЖ, ионизированным воздухом от ВИ.

При охлаждении ВИ и обдуве сжатым воздухом направляющее сопло находилось на расстоянии 10 мм от зоны резания.

Результаты расчета стойкости режущего инструмента и измеренной шероховатости обработанной поверхности приведены на рис. 2.

Диаграмма (рис. 2) показывает, что стойкость инструмента при обработке с использованием ВИ по сравнению с обработкой без охлаждения выше более чем на 100 %.

При сравнении обработки с обдувом ионизированным воздухом с поливом эмульсией показатель стойкости выше на 20–30 %. Диаграмма шероховатости обработанной поверхности показывает, что использование ВИ дает минимальную высоту неровностей.

Более полное представление о возможностях обработки резанием с охлаждением при помощи ВИ может дать исследование температуры в зоне резания. Одним из наиболее точных и доступных методов исследования температуры в зоне резания считается естественная термопара. Его недостатком является необходимость тарирования соответствия термической электродвижущей силы (ЭДС) и температуры.

Для исследования температуры в зоне резания были созданы два стенда. Стенд на основе токарно-винторезного станка (см. рис. 1) дополнялся осциллографом на базе аналогово-цифрового преобразователя электрического сигнала (АЦП) и персонального переносного компьютера марки ACER со специальным программным обеспечением. Применялась пластина Т15К6, что позволило пренебречь погрешностями измерения ЭДС, возникающими вследствие износа режущего инструмента. Державка изолировалась от резцедержателя. Осциллограф соединяли с помощью изолированных медных про-

водов следующим образом: первая жила крепилась к пластине Т15К6 прижатием за счет собственного крепления к державке, вторая жила крепилась оловянно-свинцовым припоем к свободной точке станка. Полученные соединения формировали канал связи осциллографа с естественной термопарой.

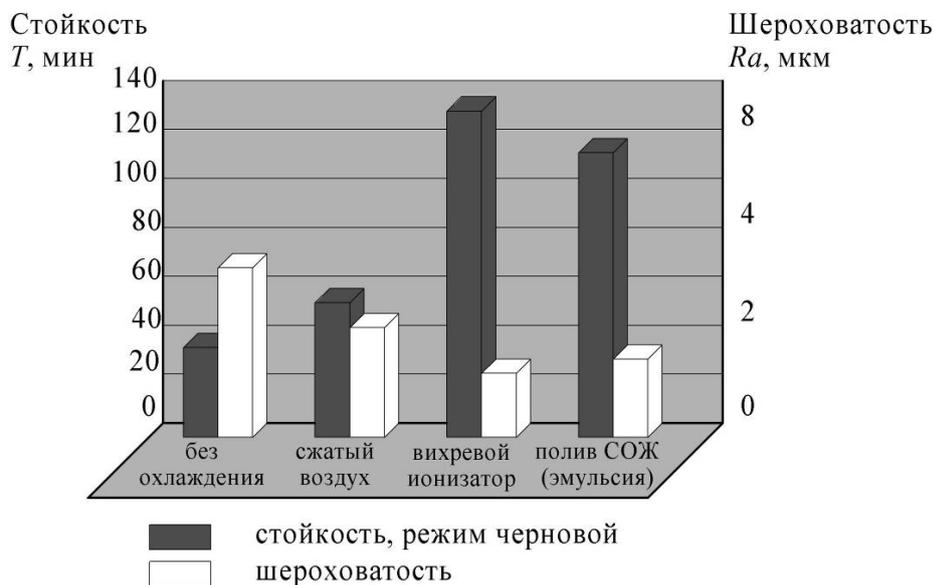


Рис. 2. Диаграмма результатов исследования шероховатости обработанной поверхности и стойкости режущего инструмента

Стенд для тарирования естественной термопары (схема приведена на рис. 3) состоит из емкости с оловом, газовой горелки, осциллографа на базе ПК, искусственной термопары с максимальной температурой измерения 800 °С и погрешностью ±2,5 °С, специальным штативом для фиксации искусственной термопары, пластин одинаковой формы и размера из сплава Т15К6 и стали 40Х.

В расплавленное олово помещался чувствительный элемент искусственной контрольной термопары и элементы естественной термопары, представляющие собой пластины из инструментального и обрабатываемого материалов. Образовавшиеся два канала от созданных термопар соединяли с осциллографом.

Для определения пределов тарирования естественной термопары выполнялось измерение термической ЭДС при точении прутка на черновом режиме без охлаждения.

Тарирование выполнялось следующим образом: газовая горелка включалась на полную мощность, в режиме реального времени измерялись значения термической ЭДС по каналу 1 (рис. 3) и температуры олова по каналу 2. Нагрев прекращался в момент, когда значение ЭДС естественной термопары превышало величину, достигаемую при обработке на станке.

Измерение температуры в зоне резания выполнялось следующим образом. Пруток протачивался на черновом режиме при охлаждении сжатым воздухом, во время точения измерялись значения температуры в зоне резания в динамике в масштабе реального времени. Параллельно осуществлялся кон-

троль температуры на поверхности режущего инструмента и заготовки тепловизором NEC G120 с максимальной температурой измерения до 1500 °С. Измерения температуры повторялись при охлаждении поливом СОЖ и обдувом ионизированным воздухом от ВИ.

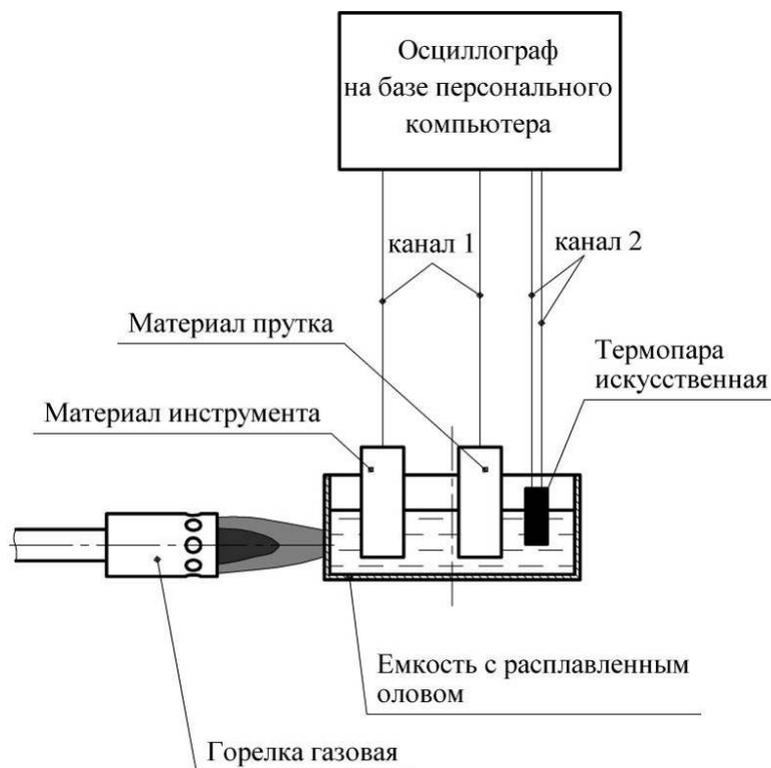


Рис. 3. Схема стенда для тарирования естественной термопары

Термограммы, полученные тепловизором, обрабатывались с помощью лицензионного специального программного обеспечения: Thermography Studio 5.1.0.902.

Результаты исследования температуры в зоне резания приведены на рис. 4.

Диаграмма (рис. 4) показывает, что использование ВИ для уменьшения температуры в зоне резания при обработке деталей целесообразно, так как по эффективности сравнимо с обработкой при поливе СОЖ; по сравнению с обработкой без охлаждения температура в зоне резания ниже на 60–70 %. При чистовой обработке внедрение ВИ обеспечивает уменьшение величины шероховатости, а при черновой обработке – повышение стойкости режущего инструмента.

Применение ВИ на операциях токарной обработки в технологических процессах изготовления деталей дизельного двигателя 1-ПД4Д (клапан масляного насоса, муфта, стакан, шестерня ведомая и шестерня ведущая, изготавливаемых из стали 40Х) позволило уменьшить основное время переходов за счет интенсификации технологических режимов, снизить количество переходов, повысить качество обработки, сократить расходы на СОЖ и электроэнергию.

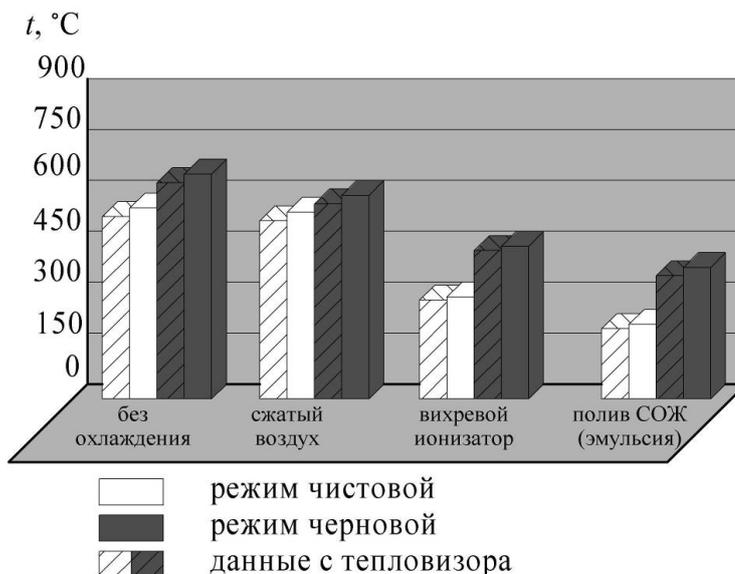


Рис. 4. Диаграмма результатов исследования температуры в зоне резания

Заключение

В результате выполнения исследования стойкости режущего инструмента, шероховатости обработанной поверхности и температуры в зоне резания были получены следующие результаты.

Стойкость режущего инструмента при использовании ВИ оказалась на 20–30 % выше по сравнению со стойкостью при обработке с поливом эмульсией и более чем в 2 раза выше по сравнению с обработкой без охлаждения и обработкой с обдувом сжатым воздухом.

Величина шероховатости обработанной поверхности по параметру среднего арифметического отклонения профиля оказалась наименьшей в опытах с использованием ВИ (до 1,4 мкм), что имеет меньшее значение, чем при обработке поливом эмульсией (до 1,9 мкм), охлаждении сжатым воздухом (до 2,3 мкм) и в 3 раза меньше, чем при обработке без охлаждения (до 3,4 мкм).

Температура в зоне резания при охлаждении зоны резания обдувом ионизированным воздухом выше, чем при поливе СОЖ (на 15 % при черновом режиме и 8–10 % при чистовом), но ниже, чем при обработке без охлаждения (на 35–40 % при черновом точении и на 40–50 % при чистовом) и при обдуве сжатым воздухом (на 25–30 % при черновом точении и на 40–45 % при чистовом).

Полученные результаты можно объяснить:

1) снижением коэффициента трения между поверхностями режущего инструмента, обработанной поверхности и стружки за счет образования оксидных пленок на ювенильных поверхностях при повышенной физической и химической активности ионизированного воздуха;

2) интенсивным теплоотъемом ионизированного воздуха за счет направленного движения заряженных частиц в возникающих магнитных полях при механической обработке. Также известно, что помимо аэроионов

в ионизированном воздухе присутствуют электроны, имеющие большую скорость движения. Интенсивности теплоотдачи способствует температура ионизированного воздуха – менее 0 °С (согласно предварительным исследованиям).

Список литературы

1. **Горелов, В. М.** Резание металлов / В. М. Горелов. – М. : Машиностроение, 1966. – 206 с.
2. **Клепиков, В. В.** Технология машиностроения / В. В. Клепиков, А. Н. Бодров. – М. : Форум инфа, 2004. – 860 с.
3. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / под ред. С. Г. Энтелиса, Э. М. Берлинера. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
4. **Кириллов, А. К.** Экологически безопасное резание труднообрабатываемых материалов / А. К. Кириллов // СТИН. – 2005. – № 3. – С. 24–28.
5. **Петрушин, С. И.** Экономически обоснованный срок службы режущих инструментов / С. И. Петрушин // Вестник машиностроения. – 2007. – № 4. – С. 40–45.
6. **Бобров, В. Ф.** Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
7. Пат. 2016738 Российская Федерация, МПК⁵ В23Q11/10. Устройство для охлаждения зоны резания / Татаринов А. С., Петрова В. Д., Подураев В. Н.; заявитель Научно-исследовательский институт конструкционных материалов и технологических процессов при МГТУ им. Н. Э. Баумана; патентообладатель Татаринов А. С., Петрова В. Д., Подураев В. Н. – № 4839399/08; заявл. 15.06.1990; опубл. 30.07.1994.
8. **Подураев, В. Н.** Механическая обработка с охлажденным ионизированным воздухом / В. Н. Подураев // Вестник машиностроения. – 1991. – № 11. – С. 27–31.
9. **Наумов, А. Г.** Исследование температур в теле резца при использовании охлажденных воздушных сред / А. Г. Наумов // Физика, химия и механика трибо-систем: межвуз. сб. науч. тр. – Иваново : Изд-во ИвГТУ, 2010. – Вып. 9. – С. 37–41.
10. **Курносков, Н. Е.** Вихревая ионизация как средство совершенствования технологии механической обработки деталей / Н. Е. Курносков, А. С. Асосков // Известия Тульского государственного университета. – 2012. – № 1. – С. 157–166.
11. **Курносков, Н. Е.** Технологическое обеспечение качества поверхности при механообработке охлаждением ионизированным воздухом / Н. Е. Курносков, А. А. Николотов, А. С. Асосков // Наука и техника в современном мире. Часть I: материалы Междунар. заочной науч.-практ. конф. – Новосибирск : Сибирская ассоциация консультантов, 2012. – С. 11–18.
12. Справочник технолога-машиностроителя : в 2-х т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.

References

1. **Gorelov, V. M.** Rezaniye metallov / V. M. Gorelov. – M. : Mashinostroyeniye, 1966. – 206 s.
2. **Klepikov, V. V.** Tekhnologiya mashinostroyeniya / V. V. Klepikov, A. N. Bodrov. – M. : Forum infa, 2004. – 860 s.
3. Smazochno-okhlazhdayushchiye tekhnologicheskiye sredstva dlya obrabotki metallov rezaniyem: spravochnik / pod red. S. G. Entelisa, E. M. Berlinera. – M. : Mashinostroyeniye, 1986. – 352 s.

4. **Kirillov, A. K.** Ekologicheskii bezopasnoye rezaniye trudnoobrabatyvayemykh materialov / A. K. Kirillov // STIN. – 2005. – № 3. – S. 24–28.
5. **Petrushin, S. I.** Ekonomicheski obosnovannyi srok sluzhby rezhushchikh instrumentov / S. I. Petrushin // Vestnik mashinostroyeniya. – 2007. – № 4. – S. 40–45.
6. **Bobrov, V. F.** Osnovy teorii rezaniya metallov / V. F. Bobrov. – M. : Mashinostroyeniye, 1975. – 344 s.
7. Pat. 2016738 Rossiyskaya Federatsiya, MPK5 B23Q11/10. Ustroystvo dlya okhlazhdeniya zony rezaniya / Tatarinov A. S., Petrova V. D., Podurayev V. N. ; zayavitel' Nauchno-issledovatel'skiy institut konstruktsionnykh materialov i tekhnologicheskikh protsessov pri MGTU im. N. E. Baumana ; patentoobladatel' Tatarinov A. S., Petrova V. D., Podurayev V. N. – № 4839399/08 ; zayavl. 15.06.1990 ; opubl. 30.07.1994.
8. **Podurayev, V. N.** Mekhanicheskaya obrabotka s okhlazhdennym ionizirovannym vozdukhom / V. N. Podurayev // Vestnik mashinostroyeniya. – 1991. – № 11. – S. 27–31.
9. **Naumov, A. G.** Issledovaniye temperatur v tele reztsa pri ispol'zovanii okhlazhdennykh vozdushnykh sred / A. G. Naumov // Fizika, khimiya i mekhanika tribo-sistem : mezhvuz. sb. nauch. tr. – Ivanovo : Izd-vo IvGTU, 2010. – Vyp. 9. – S. 37–41.
10. **Kurnosov, N. Ye.** Vkhrevaya ionizatsiya kak sredstvo sovershenstvovaniya tekhnologii mekhanicheskoy obrabotki detaley / N. Ye. Kurnosov, A. S. Asoskov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012. – № 1. – S. 157–166.
11. **Kurnosov, N. Ye.** Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva poverkhnosti pri me-khanoobrabotke okhlazhdeniyem ionizirovannym vozdukhom / N. Ye. Kurnosov, A. A. Nikolotov, A. S. Asoskov // Nauka i tekhnika v sovremennom mire. Chast' I : materialy Mezhdunar. zaochnoy nauch.-prakt. konf. – Novosibirsk : Sibirskaya assotsiatsiya konsul'tantov, 2012. – S. 11–18.
12. Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya : v 2-kh t. / pod red. A. G. Kosilovoy i R. K. Meshcheryakova. – M. : Mashinostroyeniye, 1985. – T. 2. – 496 s.

Курносков Николай Ефимович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой транспортно-
технологических машин и оборудования,
Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: ttmo-pgu@mail.ru

Kurnosov Nikolay Efimovich

Doctor of engineering sciences, professor,
head of sub-department of transport-
technological machines and equipment,
Penza State University
(Penza, 40 Kransaya str.)

Тарнопольский Александр Владимирович

кандидат технических наук, профессор,
кафедра транспортно-технологических
машин и оборудования, Пензенский
государственный университет
(г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: ttmo-pgu@mail.ru

Tarnopol'skiy Alexander Vladimirovich

Candidat of engineering sciences, professor,
sub-department of transport-technological
machines and equipment, Penza State
University (Penza, 40 Kransaya str.)

Асосков Александр Сергеевич

инженер-конструктор, отдел главного
технолога, ОАО «Пензадизельмаш»
(Пенза, ул. Калинина, 128А)

E-mail: asoskov_w@mail.ru

Asoskov Alexander Sergeevich

Design engineer, production management
department, «Penzadieselmash» Plc.
(Penza, 128a Kalinina str.)

УДК 621.941.08

Курносков, Н. Е.

Совершенствование технологии механической обработки с использованием вихревой ионизации воздуха / Н. Е. Курносков, А. В. Тарнопольский, А. С. Асосков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 85–93.

И. И. Воячек, Ю. Н. Кошелева, А. Ю. Муйземнек

ВЫБОР РЕЖИМОВ АЛМАЗНОГО ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ УСЛОВИЯ СОХРАНЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КРУГА

Аннотация. Предложена методика определения режимов глубинного алмазного шлифования труднообрабатываемых материалов, обеспечивающая максимальную производительность процесса. При этом научнообоснованно определяется предельная скорость перемещения детали и прогнозируется возможность засаливания круга для глубинного алмазного шлифования при выбранных режимах.

Ключевые слова: глубинное шлифование, режимы шлифования, зернистость круга, засаливание круга, межзерновое пространство круга, производительность шлифования.

I. I. Voyachek, Y. N. Kosheleva, A. Y. Muyzemnek

SELECTING THE MODES OF DEEP DIAMOND GRINDING OF CHURLISH MATERIALS FOR RETAINING CIRCLE'S CUTTING CAPACITY

Abstract. The authors suggest a method of determining the mode of deep diamond grinding of hard materials, ensuring maximum productivity of the process. The article scientifically proves the calculation of limit velocity of a detail and predicts circle clogging probability for deep diamond grinding in selected modes.

Key words: deep grinding, modes of grinding, grain grinding circle, grinding circle clogging, intergranular space of a grinding circle, grinding productivity.

Введение

Производительность процесса шлифования зависит от комплекса сложных механических и физических явлений, происходящих при взаимодействии шлифовального круга с деталью. Существенное влияние на качество обработанных изделий оказывает температурный режим шлифования. Чтобы не допустить появления прижогов и трещин на обработанной поверхности, необходимо ограничивать скорость перемещения изделия и глубину шлифования. С другой стороны, производительность шлифования связана с режущей способностью круга и находится в прямой зависимости от скорости засаливания круга, которая в свою очередь связана с пористостью круга и объемом межзернового пространства (с объемом стружки, размещаемой в порах и между зернами круга).

Повышение производительности шлифования может быть обеспечено применением высокопористых кругов. Однако для алмазного шлифования зернами АСб рекомендуется использовать металлические связки [1], в которых поры практически отсутствуют (около 2 %). Следовательно, весь объем стружки должен размещаться в межзерновом пространстве круга. Если объем снимаемой стружки превышает объем межзернового пространства, то стружка брикетизируется, а круг засаливается.

1. Определение объема межзернового пространства круга

Процесс глубинного шлифования характеризуется большими объемами снимаемого материала за один проход по сравнению с многопроходным шлифованием и проблема с размещением стружки встает наиболее остро.

Основным условием сохранения режущей способности кругов на металлических связках будет условие равенства объемов межзернового пространства круга (МЗП) на дуге контакта с изделием $V_{\text{МЗП}}$ и объема стружки, снимаемого за период прохождения кругом дуги контакта $V_{\text{СТР}}$:

$$V_{\text{СТР}} \leq V_{\text{МЗП}} \quad (1)$$

Объем межзернового пространства можно найти как разность объема слоя круга, в котором размещаются зерна максимальной высоты $h_{3\text{max}}$ (мм) и суммарного объема n зерен, находящихся в этом слое $\sum_{i=1}^n V_{3i}$ (рис. 1):

$$V_{\text{МЗП}} = \pi D_{\text{к}} B_{\text{к}} h_{3\text{max}} - \sum_{i=1}^n V_{3i}, \text{ мм}^3,$$

где $D_{\text{к}}$ – диаметр шлифовального круга, мм; $B_{\text{к}}$ – ширина круга, мм.

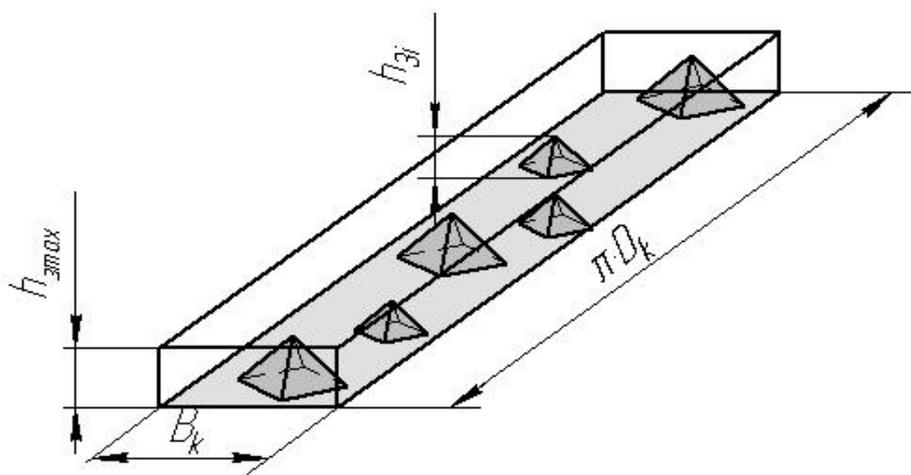


Рис. 1. Схема к расчету МЗП алмазного круга

Для определения суммарного объема зерен необходимо определить объем каждого зерна V_{3i} . Форма алмазного зерна сложна, кроме того, зерно может располагаться в связке различным образом. В ряде работ форма зерна моделировалась шаром [2], эллипсоидом [3] или тетраэдром. При замене абразивного зерна эллипсоидом вращения с постоянным значением полуосей возникает проблема, связанная с наклоном полуосей относительно поверхности круга, что приводит к существенным ошибкам [3]. Аппроксимация формы абразивного зерна шаром также недостаточно точна, так как реальное зерно имеет острые грани.

В данной работе зерна представлялись в виде октаэдров, расположенных перпендикулярно поверхности круга и выступающих из связки на некоторую величину h_z , которая изменяется от нуля до $h_{z\max}$ и является случайной величиной, подчиняющейся закону нормального распределения [4]. В работе [4] установлено, что максимальная высота выступления зерен в большей степени зависит от типа связки и зернистости алмазного порошка и получена эмпирическая формула для определения максимальной высоты выступления зерен:

$$h_{z\max} = C_h(1 + d_{\text{ср}})^{X_h},$$

где C_h и X_h – постоянные коэффициенты, зависящие от типа связки; $d_{\text{ср}}$ – средний размер зерна, мкм.

Средний размер зерна находится по следующей формуле [3]:

$$d_{\text{ср}} = 0,5(h_{\text{в}} + h_{\text{н}})\eta,$$

где $h_{\text{в}}$ – размер ячейки верхнего сита в свету, мкм; $h_{\text{н}}$ – размер ячейки нижнего сита в свету, мкм; η – поправочный коэффициент на размер зерна, определяемый в работе [5].

Величина h_{zi} представляется как произведение максимальной высоты выступов зерен на некоторый коэффициент φ_i , изменяющийся от нуля до единицы:

$$h_{zi} = \varphi_i h_{z\max}, \quad 0 \leq \varphi_i \leq 1.$$

Случайное число φ_i подчиняется закону нормального распределения и при вычислении задается с помощью генератора случайных чисел. Математическое ожидание $\bar{\varphi} = 0,5$, диапазон рассеивания принимается равным 6σ , откуда среднее квадратическое отклонение $\sigma = \frac{1}{6}$.

Выступающая часть зерна представляет собой правильную четырехгранную пирамиду, объем которой равен

$$V = \frac{2}{3}h^3.$$

Для расчета суммарного объема выступающей части зерен необходимо знать их количество на поверхности круга – n , которое зависит от марки и концентрации алмазов и зернистости алмазного порошка [6].

При моделировании с помощью генератора случайных чисел разыгрывались в соответствии с нормальным законом распределения значения случайного числа φ_i при числе реализаций n , подсчитывались объемы выступающей части зерен, после чего находился суммарный объем межзернового пространства:

$$V_{\text{МЗП}} = \pi D_{\text{к}} B_{\text{к}} h_{z\max} - \frac{2}{3} h_{z\max}^3 \sum_{i=1}^n \varphi_i^3, \text{ мм}^3.$$

Алгоритм расчета МЗП алмазного круга программно реализован на языке программирования Delphi в виде автономного модуля (рис. 2).

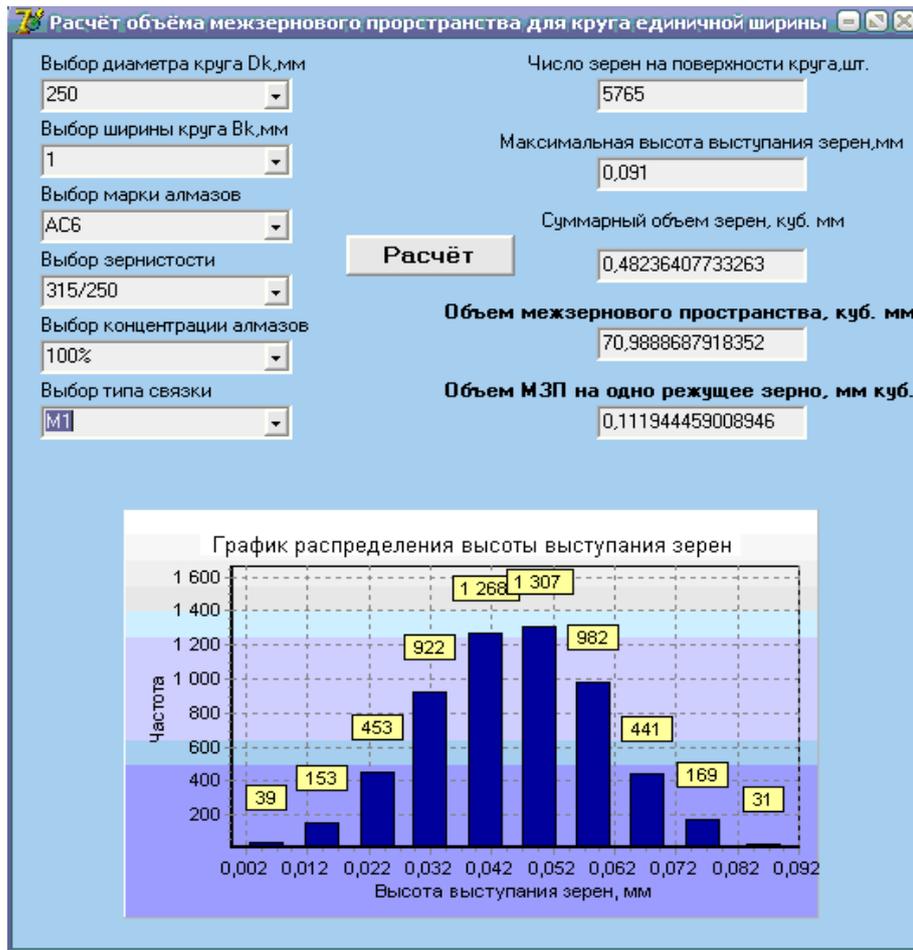


Рис. 2. Окно программы расчета МЗП алмазного круга

Поскольку в процессе шлифования стружка снимается только режущими зернами, при построении критерия оценки и выбора технологических режимов необходимо учитывать объем межзернового пространства, приходящийся на одно режущее зерно.

Известно, что количество режущих зерен колеблется в пределах 10–12 % от их общего числа [1, 2]. С учетом этого средний объем межзернового пространства, приходящийся на одно режущее зерно, можно определить по формуле

$$V_{\text{МЗП}i} = \frac{V_{\text{МЗП}}}{(0,10 \dots 0,12)n}$$

2. Определение объема стружки, снимаемой при шлифовании

Объем стружки, снимаемый одним режущим зерном за период прохождения им дуги контакта круга с изделием, можно определить из следующих

соображений. Объем материала, снимаемый шлифовальным кругом за единицу времени, равен (рис. 3)

$$V_{\text{мин}} = V_{\text{д}} t B_{\text{к}} 10^3, \text{ мм}^3/\text{мин}, \quad (2)$$

где $V_{\text{д}}$ – скорость перемещения детали, м/мин; t – глубина шлифования, мм.

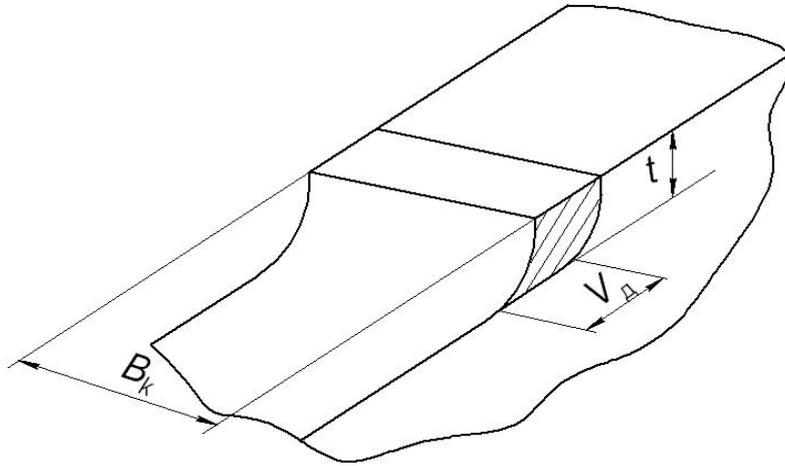


Рис. 3. Схема к определению объема снимаемого слоя

С другой стороны, данный объем можно определить по формуле

$$V_{\text{мин}} = V_{\text{стри}} z_p n_{\text{к}}, \text{ мм}^3/\text{мин}, \quad (3)$$

где $V_{\text{стри}}$ – объем стружки, снимаемый одним зерном на дуге контакта круга с изделием, мм^3 ; z_p – число режущих зерен; $n_{\text{к}}$ – частота вращения шлифовального круга, мин^{-1} ;

$$z_p = 0,11n; \quad n_{\text{к}} = \frac{1000V_{\text{кр}}}{60\pi D_{\text{к}}},$$

где $V_{\text{кр}}$ – скорость шлифовального круга, м/с.

Приравнивая выражения (2) и (3) и решая уравнение относительно $V_{\text{стри}}$, можно получить

$$V_{\text{стри}} = \frac{1714 D_{\text{к}} V_{\text{д}} t B_{\text{к}}}{n V_{\text{кр}}}, \text{ мм}^3. \quad (4)$$

3. Выбор режимов шлифования из условия сохранения стабильных режущих свойств круга

Используя условие (1), формулу (4) и результаты расчета величины $V_{\text{МЗП } i}$, выполненного с помощью программного модуля (рис. 2), можно определить режимы, при которых для принятых характеристик алмазного круга будут обеспечены его стабильные режущие свойства.

В частности, предельно допустимая скорость перемещения детали определяется по формуле

$$V_d = \frac{V_{мп} i n V_{кр}}{1714 D_k t B_k}. \quad (5)$$

По формуле (5) выполнены расчеты для следующих режимов шлифования:

1) $V_{кр} = 30$ м/с; $t = 1$ мм, $B_k = 1$ мм, $D_k = 250$ мм, тип связки М2-01, концентрация алмазов в алмазоносном слое 100%, марки алмазов АС6, АС4, АС2 (рис. 4);

2) $V_{кр} = 30$ м/с; $t = 1$ мм, $B_k = 1$ мм, $D_k = 250$ мм, типы связок М2-01, М5-04, М2-09, концентрация алмазов в алмазоносном слое 100 %, марка алмазов АС6 (рис. 5).

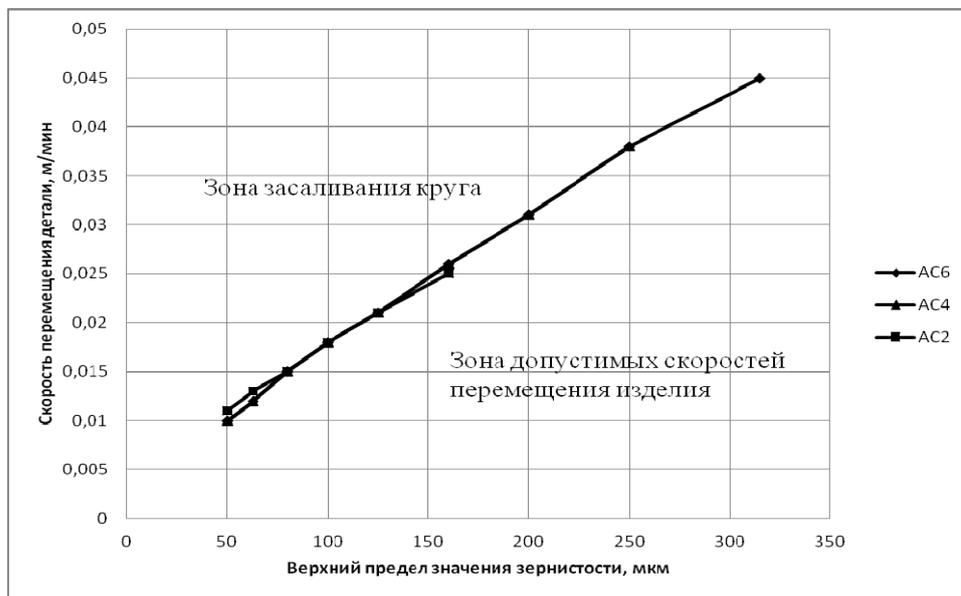


Рис. 4. Зависимость допустимой скорости перемещения детали от зернистости алмазного порошка и марок алмазов (тип связки М2-01)

Результаты расчета показали, что на величину допустимой скорости перемещения детали в значительной степени влияет зернистость алмазного порошка и в определенной степени тип связки (рис. 5). Для различных марок алмазов (АС6, АС4, АС2) при одинаковой зернистости значения допустимой скорости перемещения детали различаются незначительно.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований разработана методика выбора эффективных режимов алмазного глубинного шлифования из условия сохранения стабильных режущих свойств круга.

Установлено, что основным фактором, влияющим на выбор предельно допустимой скорости перемещения детали и, следовательно, обеспечение

максимальной и стабильной производительности шлифования, является зернистость алмазного порошка.

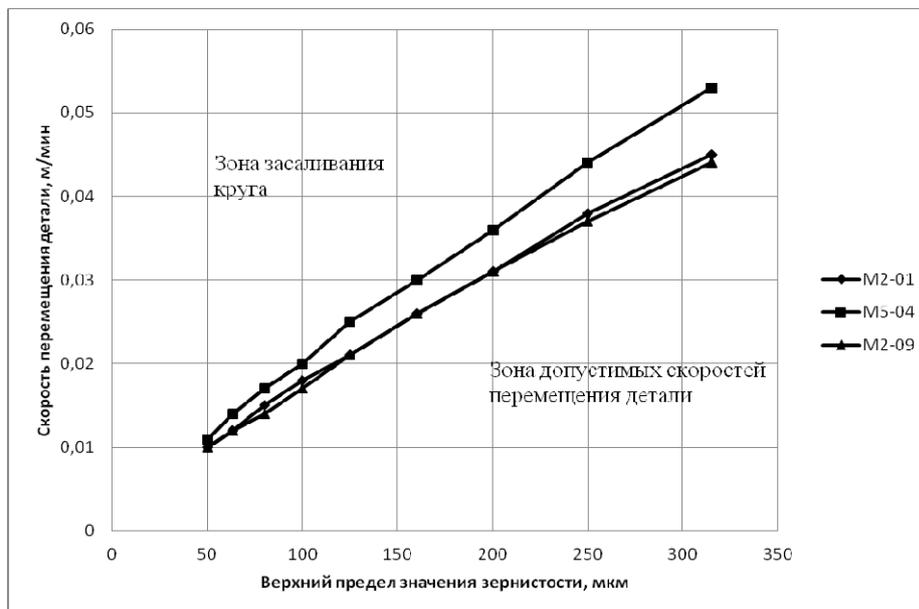


Рис. 5. Зависимость допустимой скорости перемещения детали от зернистости алмазного порошка и типов связки (марка алмазов АС6)

С увеличением зернистости можно назначать большую скорость перемещения детали. В свою очередь выбор зернистости алмазного порошка необходимо осуществлять с учетом обеспечения требуемой шероховатости поверхности готового изделия. От типа связки предельная скорость перемещения детали зависит в меньшей степени. Для обеспечения максимальной производительности следует применять связку М5-04, однако наиболее подходящим типом связки для глубинного шлифования твердых сплавов с учетом теплофизических характеристик является М2-01. От марки алмазов предельная скорость перемещения детали практически не зависит, что объясняется незначительными отличиями геометрии алмазов разных марок друг от друга (различаются прежде всего прочностными характеристиками).

Список литературы

1. **Маслов, Е. Н.** Теория шлифования металлов / Е. Н. Маслов. – М. : Машиностроение, 1974. – 320 с.
2. **Байкалов, А. К.** Введение в теорию шлифования материалов / А. К. Байкалов. – Киев : Наукова думка, 1978. – 207 с.
3. **Королев, А. В.** Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А. В. Королев. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 189 с.
4. **Соколов, В. О.** Комплексное обеспечение точности профильной алмазно-абразивной обработки : автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01, 05.02.08 / Соколов В. О. – Саратов, 2000. – 30 с.
5. **Щиголов, А. Г.** Определение количества зерен по глубине рабочего поверхностного слоя алмазного инструмента / А. Г. Щиголов, Б. И. Полупан, В. В. Коломиец // Синтетические алмазы, 1979. – № 3. – С. 19–25.

6. **Бакуль, В. Н.** Число зерен в одном карате – одна из важнейших характеристик алмазного порошка / В. Н. Бакуль // Синтетические алмазы. – 1976. – № 4. – С. 22–27.

References

1. **Maslov, Ye. N.** Teoriya shlifovaniya metallov / Ye. N. Maslov. – M. : Mashinostroyeniye, 1974. – 320 s.
2. **Baykalov, A. K.** Vvedeniye v teoriyu shlifovaniya materialov / A. K. Baykalov. – Kiyev : Naukova dumka, 1978. – 207 s.
3. **Korolev, A. V.** Issledovaniye protsessov obrazovaniya poverkhnostey instrumenta i detali pri abrazivnoy obrabotke / A. V. Korolev. – Saratov : Izd-vo Sa-rat. un-ta, 1975. – 189 s.
4. **Sokolov, V. O.** Kompleksnoye obespecheniye tochnosti profil'noy almazno-abrazivnoy obrabotki : avtoreferat dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.03.01, 05.02.08 / Sokolov V. O. – Saratov, 2000. – 30 s.
5. **Shchigolev, A. G.** Opredeleniye kolichestva zeren po glubine rabochego poverkhnostnogo sloya almaznogo instrumenta / A. G. Shchigolev, B. I. Polupan, V. V. Kolomiyets // Sinteticheskiye almazy, 1979. – № 3. – S. 19–25.
6. **Bakul', V. N.** Chislo zeren v odnom karate – odna iz vazhneyshikh kharakteristik almaznogo poroshka / V. N. Bakul' // Sinteticheskiye almazy. – 1976. – № 4. – S. 22–27.

Воячек Игорь Иванович

доктор технических наук, профессор,
кафедра технология машиностроения,
Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: Voyachek@list.ru

Voyachek Igor Ivanovich

Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of machine building,
Penza State University
(Penza, 40 Kransaya str.)

Кошелева Юлия Николаевна

аспирант, Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: j231@mail.ru

Kosheleva Yuliya Nikolaevna

Postgraduate student, Penza State
University (Penza, 40 Kransaya str.)

Муземнек Александр Юрьевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра транспортных машин,
Пензенский государственный
университет (г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: muzemnek@yandex.ru

Muземnek Alexander Yuryevich

Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of transport machines,
Penza State University
(Penza, 40 Kransaya str.)

УДК 621.923

Воячек, И. И.

Выбор режимов алмазного глубинного шлифования труднообрабатываемых материалов из условия сохранения режущей способности круга / И. И. Воячек, Ю. Н. Кошелева, А. Ю. Муземнек // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 94–101.

Ю. В. Полянсков, А. Н. Евсеев, В. А. Поройков

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕДИМЕНТАЦИИ ПРОБЫ
СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ
И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО
СОСТАВА ПРИМЕСЕЙ**

Аннотация. Рассматривается моделирование седиментации механических примесей на основе значений второй производной площади, занимаемой достигнувшими дна колбы частицами и определяемой обработкой цифрового видеофильма. Предложен метод снижения погрешностей двойного дифференцирования путем использования особенностей распределения по размерам частиц шлифовального шлама. Получены уравнения и разработаны алгоритмы, позволяющие оценивать дисперсный состав твердых примесей в жидких средах.

Ключевые слова: моделирование седиментации, дисперсный состав, гранулометрический состав примесей.

Y. V. Polyanskov, A. N. Evseev, V. A. Poroykov

**SIMULATING SEDIMENTATION OF LUBRICOOLANT
SAMPLE USING VIDEO DATA AND REGULARITIES
OF IMPURITY GRANULOMETRIC COMPOUND**

Abstract. The article considers the simulation of sedimentation of mechanical impurity based on the values of the second derivative of the area occupied by the particles that reached the bottom of the flask and determined by the digital video processing. The authors suggest a method to reduce errors of double differentiation by using the characteristics of grinding sludge particles distribution by size. The researchers have derived the equations and developed the algorithms to evaluate the parameters of impurity solids in liquids.

Key words: sedimentation simulation, powder, impurity granulometric compound.

Седиментационный анализ опирается на процесс осаждения частиц примесей в смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), который происходит со скоростями, зависящими от размера частиц, что ставит общую концентрацию примесей и их гранулометрический состав в аналитическую зависимость от массы (площади) накапливающегося осадка [1, 2]. Это позволяет эффективно производить оценку параметров частиц механических примесей, которые попадают в СОЖ при шлифовании на производстве [2]. Взвешивание массы накапливающегося осадка в весовом анализе, измерение степени рассеивания света частицами примесей в фотоседиментационном анализе являются наиболее распространенными принципами производственных реализаций седиментационного анализа [3, 4].

Сложность и продолжительность проведения точного взвешивания в весовом анализе, необходимость совмещать в измерении веса и емкости СОЖ значительно снижают оперативность замеров, соответствие устройства

производственным условиям. Хотя использование световых датчиков в фотоседиментационном анализе упрощает конструкцию прибора, аналоговая обработка фотосигнала в автономных приборах снижает возможную точность [5].

1. Особенности конструкции прибора, обусловленные работой с цифровым видеофильмом

Увеличить точность, упростить конструкцию прибора и повысить эффективность обработки данных позволяет использование потенциала цифровой техники [6, 7]. В частности, видеофильм несет в себе информацию о каждой частице механических примесей (ее положении и размере). С другой стороны, применяющийся в существующих приборах [5] фотосигнал о степени рассеяния частицами примесей луча света сводит эту информацию в один усредненный параметр – яркость. Таким образом, цифровой видеофильм является источником большей информации о примесях и, следовательно, его обработка позволит получить более точные данные о параметрах примесей.

Современный уровень развития электронной техники позволяет осуществить интеграцию прибора с персональной ЭВМ. К положительным результатам такой интеграции можно отнести:

1) отсутствие в конструкции прибора блока обработки сигналов, функции которого отводятся программной части прибора (ЭВМ);

2) обеспечение эффективной обработки данных и необходимого информирования о результатах анализа по компьютерным сетям;

3) повышение оперативности замеров вследствие меньших затрат времени на обслуживание прибора без блока обработки сигналов (п. 1) и использования ЭВМ при расчетах параметров примесей.

Рассмотрим подробнее конструкцию прибора и предложенную математическую модель связи общей концентрации и гранулометрического состава механических примесей с площадью, покрывающей дно колбы при седиментации пробы СОЖ.

Для фиксации изображения находящихся на дне колбы примесей необходимо использовать подсветку светодиодами **1** и **8**, располагающуюся, как показано на рис. 1, в достаточной близости от поверхности осаждения **9**. Колба выполняется из непрозрачного материала. Располагающаяся непосредственно под стеклянным дном пробы **9** цифровая камера **10** передает цифровой видеофильм с ростом занимаемой осадком площади в ЭВМ по USB-интерфейсу.

2. Оптимальное начальное распределение примесей по объему пробы СОЖ

Для построения прибора и его программной части имеет значение выбор начального распределения примесей по объему пробы. Существует два наиболее распространенных и отвечающих производственным условиям варианта.

Вариант 1. Предварительное сосредоточение примесей у противоположной дну границы пробы СОЖ с последующим однократным переворачиванием колбы на 180° перед началом эксперимента.

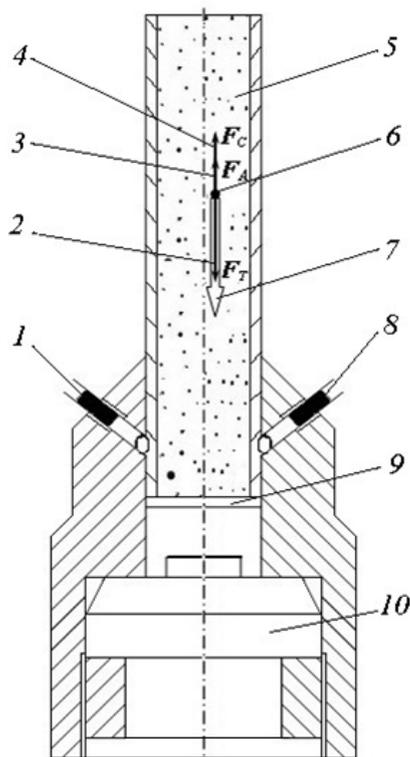


Рис. 1. Схема прибора, осуществляющего седиментационный анализ с использованием ЭВМ: 1, 8 – светодиоды; 2, 3, 4 – соответственно силы тяжести, Архимеда и сопротивления осадению; 5 – СОЖ; 6 – частица примесей; 7 – направление осадения; 9 – стекло; 10 – цифровая видеокамера

В этом варианте начальное скопление примесей в горизонтальной плоскости у дна колбы переходит в результате зависящей от размеров частиц скорости осадения в распределенную по высоте совокупность групп примесей. Эти группы состоят из частиц с одинаковым радиусом и осаждаются, сохраняя начальное взаимное относительное расположение в горизонтальной плоскости. Такое сосредоточение при седиментации частиц равных радиусов в горизонтальные плоскости приводит к тому, что влияние конкретной группы частиц на кривую накопления происходит исключительно в момент осадения. Учитывая необходимость двукратного дифференцирования в математической модели, можно сделать вывод, что кривая накопления, построенная на одномоментных приращениях, будет содержать в себе дополнительные недопустимые погрешности. К другому недостатку этого варианта относится необходимость неопределенных затрат времени на гарантировано полное выпадение всех примесей в осадок, которые при анализе мелких примесей и использовании вязких СОЖ могут быть значительны.

Вариант 2. Равномерное распределение частиц примесей по объему пробы посредством многократных переворачиваний колбы на 180° перед началом эксперимента.

К преимуществам этого варианта относится потребность в меньших затратах производственного времени, так как равномерное распределение до-

стигается несколькими элементарными переворачиваниями в противоположные стороны. В этом варианте начальное равномерное распределение примесей по объему колбы переходит в результате зависящей от размеров частиц скорости осаждения в распределенную по высоте совокупность пространственно вложенных друг в друга групп примесей. Эти группы, состоящие из частиц с одинаковым радиусом, осаждаются, сохраняя начальное равномерное распределение, но все по меньшей высоте. Такое распределение при седиментации частиц равных радиусов по уменьшающейся высоте обеспечивает сравнительно с первым вариантом плавное влияние конкретной группы частиц на кривую накопления. Это влияние осуществляется в течение всего времени от начала эксперимента до момента выпадения наиболее высоко расположенных частиц.

Следует заметить, что данный вариант не требует перемешивающих вращений колбы при встраивании в поточную автоматизированную систему использования СОЖ. В последнем случае эффективно использование уже существующего равномерного распределения частиц примесей в процессе движения СОЖ по трубам без вращения колбы.

Таким образом, второй вариант является предпочтительным для разработки прибора, поэтому математическая модель рассчитана на его использование.

3. Определение суммарной площади проекций частиц, достигающих дна в процессе седиментации

Последовательная обработка кадров цифрового видеofilmа с процессом седиментации производится программной частью прибора на базе ЭВМ и позволяет получить количественную оценку занятой частицами примесей площади.

В ЭВМ хранятся только параметры наименьших элементов изображений (пикселей) в цифровом виде, занимающие некоторый объем памяти в байтах. Так как для всех пикселей параметры, необходимые для хранения, однотипны, то число занимаемых кадром байт в памяти ЭВМ пропорционально числу содержащихся в нем пикселей.

Вследствие выбранной конструкции прибора число пикселей, соответствующих примесям или СОЖ, пропорционально занимаемой ими площади на дне колбы (рис. 2).

Следовательно, площадь, занимаемая частицами примесей $S_{\text{п}}$, может быть вычислена следующим образом:

$$S_{\text{п}} = C_{\text{п}} q_{\text{п}0}, \quad (1)$$

где $q_{\text{п}0}$ – количество байт, соответствующих частицам примесей; $C_{\text{п}}$ – коэффициент пропорциональности, получаемый экспериментальным путем и зависящий от типа применяемой цифровой видеокамеры.

Таким образом, для определения суммарной площади проекций частиц, достигающих дна в процессе седиментации, следует установить количество занимаемых ими байт в изображении. На основе информационных свойств изображений (яркость, однородность, информационная избыточность и т.д.) осевших примесей в СОЖ предлагается два возможных варианта.

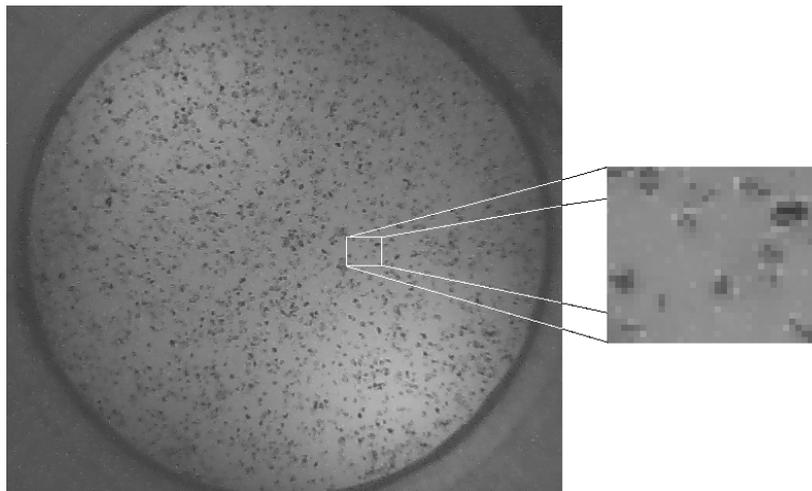


Рис. 2. Достигнувшие дна частицы примесей на кадре цифрового видеофильма седиментации пробы СОЖ в момент проведения эксперимента. На увеличенной части изображения справа можно видеть отсутствие четкой границы между изображениями СОЖ и частиц примесей

Вариант 1. Использование параметра яркости наименьших элементов изображения (пикселей) для их разделения на две группы по отношению к определяемому экспериментальным путем числовому критерию: имеющие большую яркость относятся к СОЖ, а меньшую – к частицам примесей. Фактически этот вариант является количественным выражением зрительно наблюдаемой закономерности – различия в яркости между жидкостью и примесями. К положительному моменту этого подхода относится его явный физический смысл, а к отрицательным – отсутствие аналитического выражения для определения числового критерия и зависимость от уровня освещенности, который может снизить даже значительное выпадение частиц примесей.

Вариант 2. Использование различий в информационной избыточности изображений СОЖ и механической примеси, заключающихся в следующем:

– вследствие однородности СОЖ пиксели, ей отвечающие, имеют незначительные отклонения по яркости (вызванные освещением) от соседних. Поэтому данные, необходимые для хранения изображения СОЖ, однотипны и обладают большой информационной избыточностью;

– пиксели, соответствующие частицам примесей, существенно отличаются по яркости от соседних как в силу небольших площадей частиц примесей, так и в силу непрозрачности их материала по сравнению с СОЖ. Поэтому данные, отвечающие частицам примесей, имеют минимальную информационную избыточность.

Эти различия позволяют для определения занятой частицами примесей площади использовать методы оценки информационной избыточности, которые разработаны в теории сжатия изображений [8].

Пусть отношение сжатых одним из таких методов данных о частицах примесей к исходным равно k_n , для данных о СОЖ – k_c . Заметим, что коэффициенты отношений зависят только от метода сжатия и не зависят от параметров прибора. Тогда количество несжатых данных (байт) q_{n0} , соответствующих частицам примесей, можно представить в виде

$$q_{п0} = \frac{Q_1 - Q_0 k_c}{Q_0 k_{п} - Q_0 k_c} Q_0, \quad (2)$$

где Q_0 и Q_1 – число занимаемых всем кадром байт соответственно до и после сжатия.

Затем по формуле (1) определяется покрываемая частицами площадь.

Таким образом, данный подход к оценке занимаемой частицами механических примесей площади обеспечивает независимость от аппаратной части прибора (освещения, применения оптического увеличения) и не требует настроенных экспериментов на конкретный вид примесей.

4. Модель определения гранулометрического состава примесей по параметрам кривой накопления седиментации пробы СОЖ

Для разработки модели осаждения частиц примесей использовался ряд принятых в современных исследованиях допущений:

– частицы примесей вследствие случайности их формы полагаются шарообразными, т.е. для частиц используется эквивалентный радиус, который имели бы частицы-сферы, осаждающиеся с такой же скоростью [4];

– количество частиц примесей достаточно велико для того, чтобы можно было считать заданной непрерывную функцию $n_0(r)$ – числа частиц для каждого действительного значения $r \in R$ [4];

– осевшие частицы примесей располагаются в один слой без перекрытия их проекций на дно пробы. Это допущение основывается на том, что загрязненные на производстве СОЖ имеют такую концентрацию примесей, что проекции частиц перекрывают друг друга. Если же необходимо провести анализ значительно загрязненной СОЖ, ее пробу всегда можно достаточно разбавить для того, чтобы это допущение выполнялось;

– поток, обтекающий частицы примесей в процессе седиментации, на основании фактически небольших скоростей осаждения можно считать ламинарным, следовательно, частицы под действием сил тяжести и Архимеда движутся согласно закону Стокса с постоянной скоростью V [4]:

$$V = \frac{2g(\rho - \rho_0)}{9\eta} r^2 = Kr^2, \quad (3)$$

где $K = \frac{2g(\rho - \rho_0)}{9\eta}$; η – коэффициент вязкости среды; r – радиус частицы;

ρ – плотность материала механических примесей; ρ_0 – плотность СОЖ; g – ускорение свободного падения.

Тогда при известной высоте колбы для пробы СОЖ h найдем время, необходимое для выпадения последней частицы радиуса r и, следовательно, всей фракции частиц, имеющих радиус r :

$$t = \frac{h}{Kr^2}. \quad (4)$$

Для построения математической модели необходимо найти выражение для возрастающей площади, занимаемой выпадающими в осадок частицами

механических примесей. Выделим сначала множество выпавших в осадок частиц, используя график зависимости (4), чтобы затем использовать его для расчета занимаемой ими площади.

Это множество будет состоять из двух областей, соответствующих:

– частицам, радиусы которых при подстановке в (4) дадут значение времени t меньше текущего, т.е. достаточно тяжелым для достижения дна в заданный промежуток времени с высоты h ;

– частицам, начальная высота которых $h_1 < h$ и радиус при подстановке в (4) также дадут время меньше текущего, т.е. более легким, но ниже расположенным, чем в первой группе.

Графически это множество можно представить как область A на рис. 3.

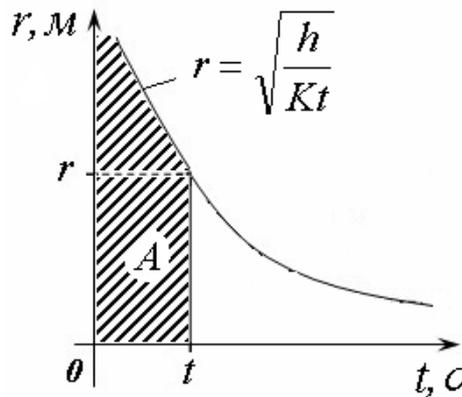


Рис. 3. Показано множество A – частиц механических примесей, выпавших в осадок к моменту времени t в декартовой координатной плоскости радиуса частиц и времени r_0t

Из принятого выше допущения о шарообразности частиц примесей следует, что проекция каждой частицы на дно пробы представляет собой круг, а площадь, которую она покрывает, – площадь круга. Таким образом, общую площадь, покрытую осевшими частицами на дне пробы $S(t)$ к моменту времени t , найдем, просуммировав площадь всех кругов – проекций частиц, т.е. взяв интеграл от функции площади частиц по области A :

$$S(t) = \int_A \pi r^2 n_0(r) dA = \int_0^t \int_0^{\sqrt{\frac{h}{K\tau}}} \pi r^2 n_0(r) dr d\tau, \quad (5)$$

где τ – переменная интегрирования.

Для нахождения требуемого нам распределения частиц $n_0(r)$ продифференцируем выражение (5) 2 раза по времени t :

$$S''(t) = \pi \frac{h}{Kt} n_0\left(\sqrt{\frac{h}{Kt}}\right) \left(-\frac{1}{2}\right) \sqrt{\frac{h}{K}} \frac{1}{t^{1.5}} = -\frac{\pi}{2} \frac{h^{\frac{3}{2}}}{K^{\frac{3}{2}} t^{\frac{5}{2}}} n_0\left(\sqrt{\frac{h}{Kt}}\right). \quad (6)$$

Откуда выразим распределение частиц для радиусов $r = \sqrt{\frac{h}{Kt}}$ соответствующих моменту времени t :

$$n_0\left(\sqrt{\frac{h}{Kt}}\right) = -\frac{2S''(t)K^{\frac{3}{2}}t^{\frac{5}{2}}}{\pi h^2}. \quad (7)$$

Выражение (7) представляет собой параметрически заданную функцию относительно времени t .

Таким образом, (7) позволяет на основе ряда последовательных значений второй производной площади $S''(t)$, покрываемой осаждающимися частицами, получить значения числа частиц примесей для последовательных значений радиусов r , а значит, после интегрирования по всем значениям радиусов и их общую концентрацию:

$$C = \frac{\rho}{\rho_0 V_K} \int_0^{+\infty} V_0(r) n_0(r) dr = \frac{4}{3} \frac{\rho}{\rho_0 V_K} \pi \int_0^{+\infty} r^3 n_0(r) dr, \quad (8)$$

где $V_0(r)$ – объем одной частицы примесей с радиусом r ; V_K – объем колбы прибора с пробой СОЖ.

5. Метод определения параметров седиментационной кривой накопления примесей на основе физико-математических особенностей гранулометрического состава частиц

Применение формулы (7) требует подстановки в нее значений второй производной кривой накопления $S''(t)$, в то время как приведенные выше алгоритмы дают лишь значения занятой частицами механических примесей площади $S(t)$. Известные алгоритмы численного дифференцирования не дают удовлетворительных результатов вследствие погрешностей исходных данных и их роста при взятии производных.

Поэтому для вычисления второй производной кривой накопления $S''(t)$ используется экспериментально подтверждающаяся применимость к частицам примесей шлифовального шлама закона распределения частиц, образующихся при механическом измельчении. Этот закон теоретически обоснован А. Н. Колмогоровым [9] и утверждает, что уравнение распределения таких частиц имеет логарифмически нормальный вид:

$$n_0(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma r} \exp\left(-\frac{(\ln r - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) = \Phi'_r\left(\frac{\ln r - \mu}{\sigma}\right), \quad (9)$$

где r – радиус частиц; σ и μ – параметры логарифмически нормального распределения; $\Phi(x)$ – функция стандартного нормального распределения.

Подставив уравнение логарифмически-нормального распределения в (7) и 2 раза проинтегрировав, получим математическое выражение кривой накопления для него:

$$S(t) = \bar{S} e^{-\left(\frac{\sigma_1^2}{2} + \mu_1\right)} \left[t - t \Phi\left(\frac{\ln t - \mu_1}{\sigma_1}\right) + e^{\frac{\sigma_1^2}{2} + \mu_1} \Phi\left(\frac{\ln t - \mu_1}{\sigma_1} - \sigma_1\right) \right], \quad (10)$$

где \bar{S} – максимальное значение занятой частицами механических примесей площади; σ_1 и μ_1 связаны с параметрами σ и μ логарифмически-нормального распределения (9) следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 2 \left(\ln \sqrt{\frac{h}{K}} - \mu - 3\sigma^2 \right), \\ \sigma_1 &= 2\sigma, \end{aligned} \quad (11)$$

где h – высота колбы с пробой СОЖ; K – коэффициент из (3).

Таким образом, для получения значений $n_0(r)$ необходимо найти параметры σ_1 и μ_1 для уравнения (10), что позволит согласно (11) получить σ , μ и функцию $n_0(r)$ по (9) (см. рис. 3).

Анализ уравнения (10) позволяет заключить, что:

– величина $\exp\left(\frac{\sigma_1^2}{2} + \mu_1\right)$ является средним значением логарифмически

нормального распределения и в силу этого находится между начальной конечной частями этого распределения. Поэтому из них можно выбрать значения, ограничивающие $\exp\left(\frac{\sigma_1^2}{2} + \mu_1\right)$;

– так как $\lim_{x \rightarrow +\infty} \Phi(x) = 1$ (причем уже при относительно небольших x выполняется $\Phi(x) \approx 1$), то при $t \gg 0$ справедливо следующее приближенное равенство:

$$\Phi\left(\frac{\ln t - \mu_1}{\sigma_1}\right) \approx \Phi\left(\frac{\ln t - \mu_1}{\sigma_1} - \sigma_1\right). \quad (12)$$

Упростив (10) с помощью (12), применяем обратную функцию нормального распределения $\Phi^{-1}(x)$ к $\Phi\left(\frac{\ln t - \mu_1}{\sigma_1}\right)$.

Это позволяет определить ограниченное множество параметров σ_1 и μ_1 , из которого согласно требуемой точности выбирается достаточно большое число пар σ_1 и μ_1 и средствами ЭВМ последовательно подставляются в (10). Пара значений, дающая, наилучшее соответствие с экспериментальными данными кривой накопления, является искомой и позволяет по (11) определить параметры логарифмически нормального распределения примесей, а также с помощью (8) и концентрацию (рис. 4).

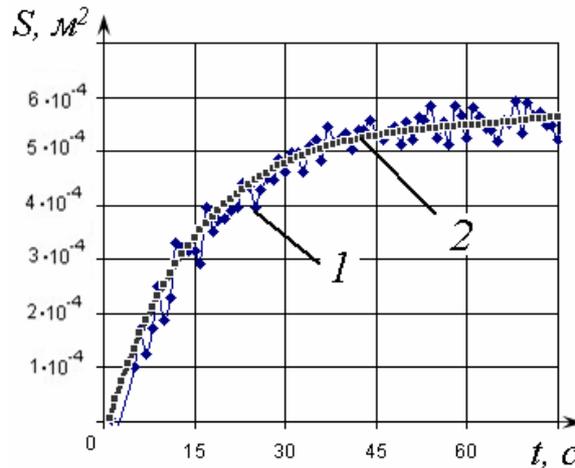


Рис. 4. Обработка информации, поступающей с видеокамеры. Значения кривой накопления I служат для определения параметров σ_1 и μ_1

6. Проверка адекватности

Проверка адекватности проводилась на основе анализа процесса осаждения предварительно равномерно размешанного в СОЖ шлифовального шлама.

Параметры шлама, его масса и распределение числа частиц по их радиусам были определены до его смешивания с СОЖ путем разделения его на фракции. Каждая фракция состояла из частиц с радиусами из последовательных диапазонов, что достигалось поочередным просеиванием первоначальной смеси части через сита со все меньшими пропускными размерами решетки. Из известной плотности шлама по среднему радиусу частиц в каждой фракции было определено число находящихся в ней частиц. Совокупность данных по всем фракциям дало распределение числа частиц по их радиусам, которое показано на рис. 5 (гистограмма 1). После смешивания шлама с СОЖ был проведен эксперимент по седиментации и определению параметров частиц примесей предложенной последовательностью методов (рис. 6).

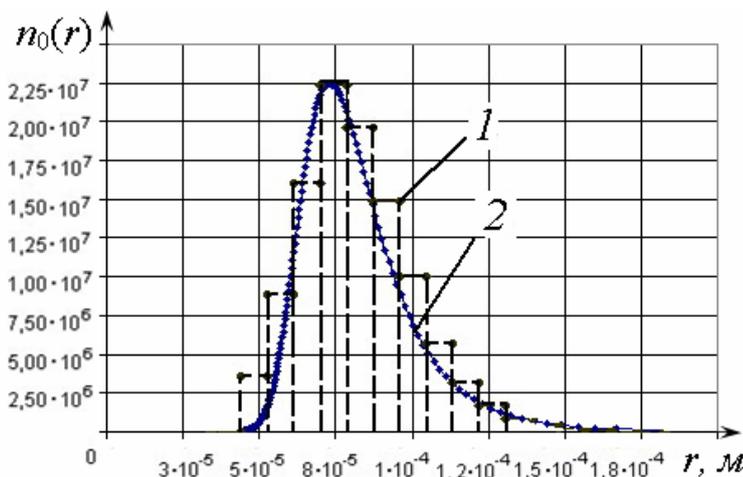


Рис. 5. Заданное перед экспериментом (1) и полученное после обработки (2) моделью кривой осаждения (см. рис. 4) распределение примесей по их радиусам



Рис. 6. Последовательность определения параметров механических примесей в СОЖ – гранулометрического состава и концентрации

Полученные значения параметров примесей совпали с теми, которые были заданы перед экспериментом, с абсолютной погрешностью, не превышающей 10 %.

Таким образом, использование видеоизображения осаждения примесей позволяет устанавливать их параметры: гранулометрический состав и концентрацию.

Заключение

Разработана модель определения концентрации и гранулометрического состава механических примесей в СОЖ на основе значений второй производной площади, занимаемой частицами при седиментации.

На основе модели предложен метод определения параметров примесей по количественной оценке занимаемой частицами площади в последовательные моменты времени. Метод включает разработанный на основе физико-математических особенностей гранулометрического состава примесей, попавших в СОЖ на операциях шлифования, алгоритм получения параметров кривой их распределения по размерам. Метод реализован в конструкции прибора, позволяющего получать изображения занимаемой частицами примесей площади в последовательные моменты времени в процессе седиментации.

Список литературы

1. **Фигуровский, Н. А.** Седиментометрический анализ / Н. А. Фигуровский. – М. : Изд-во АН СССР, 1948. – 332 с.
2. **Ходаков, Г. С.** Седиментационный анализ высокодисперсных систем / Г. С. Ходаков. – М. : Химия, 1981. – 192 с.
3. **Ходаков, Г. С.** Основные методы дисперсного анализа порошков / Г. С. Ходаков. – М. : Стройиздат, 1968. – 199 с.
4. **Коузов, П. А.** Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П. А. Коузов. – Л. : Химия, 1987. – 264 с.
5. **Полянсков, Ю. В.** Диагностика и управление надежностью смазочно-охлаждающих жидкостей на операциях механообработки / Ю. В. Полянсков, А. Н. Евсеев, А. Р. Гисметулин. – Ульяновск, 2000.
6. **Альнерович, Т. А.** Компьютерно-интегрированные производства / Т. А. Альнерович. – М. : ГУП ВИМИ, 1999. – 512 с.
7. **Луис, М.** Камаринха-Матос. Интеллектуальные системы для производства / М. Луис. – Чепмен холл, 2003. – 512 с.
8. **Ватолин, Д. А.** Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. А. Ватолин, А. М. Ратушняк, М. Г. Смирнов, В. Б. Юкин. – Диалог-МИФИ, 2002. – С. 384.
9. **Колмогоров, А. Н.** О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении / А. Н. Колмогоров // ДАН СССР. – 1941. – Т. XXXI, № 2. – С. 99–101.

References

1. **Figurovskiy, N. A.** Sedimentometricheskii analiz / N. A. Figurovskiy. – M. : Izd-vo AN SSSR, 1948. – 332 s.
2. **Khodakov, G. S.** Sedimentatsionnyy analiz vysokodispersnykh sistem / G. S. Khodakov. – M. : Khimiya, 1981. – 192 s.
3. **Khodakov, G. S.** Osnovnyye metody dispersnogo analiza poroshkov / G. S. Khoda-kov. – M. : Stroyizdat, 1968. – 199 s.
4. **Kouзов, P. A.** Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennykh pyley i izmel'chennykh materialov / P. A. Kouzov. – L. : Khimiya, 1987. – 264 s.
5. **Polyanskov, YU. V.** Diagnostika i upravleniye nadezhnost'yu smazochno-okhlazhdayushchikh zhidkostey na operatsiyakh mekhanooobrabotki / YU. V. Polyanskov, A. N. Yevseyev, A. R. Gismetulin. – Ul'yanovsk, 2000.
6. **Al'nerovich, T. A.** Komp'yuterno-integrirovannyye proizvodstva / T. A. Al'nerovich. – M. : GUP VIMI, 1999. – 512 c.
7. **Luis, M.** Kamarinkha-Matos. Intellectual'nyye sistemy dlya proizvodstva / M. Luis. – Chepmen kholl, 2003. – 512 s.
8. **Vatolin, D. A.** Metody szhatiya dannykh. Ustroystvo arkhivatorov, szhatiye izobrazheniy i video / D. A. Vatolin, A. M. Ratushnyak, M. G. Smirnov, V. B. Yukin. – Dialog-MIFI, 2002. – S. 384.
9. **Kolmogorov, A. N.** O logarifmicheski-normal'nom zakone raspredeleniya razmerov chastits pri droblenii / A. N. Kolmogorov // DAN SSSR. – 1941. – T. XXXI, № 2. – S. 99–101.

Полянсков Юрий Вячеславович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой математического
моделирования технических систем,
Ульяновский государственный
университет (г. Ульяновск,
ул. Льва Толстого, 42)

E-mail: vil-rimma@yandex.ru

Polyanskov Yuriy Vyacheslavovich

Doctor of engineering sciences, professor,
head of sub-department of mathematical
modeling of technical systems,
Ulyanovsk State University
(Ulyanovsk, 42 Lva Tolstogo str.)

Евсеев Александр Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра математического моделирования
технических систем, Ульяновский
государственный университет
(г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42)

E-mail: evseev.evan@yandex.ru

Evseev Alexander Nikolaevich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of mathematical
modeling of technical systems,
Ulyanovsk State University
(Ulyanovsk, 42 Lva Tolstogo str.)

Поройков Вадим Александрович

кандидат технических наук, старший
преподаватель, кафедра математического
моделирования технических систем,
Ульяновский государственный
университет (г. Ульяновск,
ул. Льва Толстого, 42)

E-mail: v.poroykov@mail.ru

Poroykov Vadim Alexandrovich

Candidate of engineering sciences,
senior lecturer, sub-department
of mathematical modeling of technical
systems, Ulyanovsk State University
(Ulyanovsk, 42 Lva Tolstogo str.)

УДК 621.892; 532.7

Полянсков, Ю. В.

Моделирование седиментации пробы смазочно-охлаждающей жидкости с использованием видеоинформации и закономерностей гранулометрического состава примесей / Ю. В. Полянсков, А. Н. Евсеев, В. А. Поройков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 102–114.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ОРГАНИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПОДГОТОВКИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА
АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ¹**

Аннотация. Представлены результаты анализа литейного производства с точки зрения особенностей изделий авиационной техники, предложена последовательность разработки технологического процесса изготовления отливки с применением технологии быстрого прототипирования, а также проведено сравнение разработанных схем процесса конструкторско-технологической подготовки производства с применением новых информационных технологий и без.

Ключевые слова: литейное производство, конструкторско-технологическая подготовка производства, технологический процесс, технология быстрого прототипирования.

O.Y. Levkina

**INFORMATION TECHNOLOGIES APPLICATION FOR
ORGANIZATION OF ENGINEERING AND DESIGN STAGING
OF CASTING PRODUCTION AT AN AIRCRAFT ENTERPRISE**

Abstract. The article presents an analysis of casting production in terms of peculiarities of aircraft parts production. The author suggests an algorithm enabling the development of casting technological process which uses the fast prototyping technology. Besides that, the researcher compares the developed schemes of engineering and design staging of foundry production applying new information technologies and not applying them.

Key words: casting production, engineering and design staging, technological process, rapid prototyping technology.

Введение

Литейное производство (как заготовительное производство авиастроительного предприятия) отличается относительным разнообразием применяемых технологий и сложностью протекающих в нем процессов. Каждый из этих производственных процессов требует использования специального технологического оборудования, соответствующей оснастки, влияет на производственную структуру производства, профессиональный состав, организацию труда, оперативно календарное планирование и, в конечном счете, на эффективность функционирования производства [1, 2]. Повышения эффективности, технологичности и качества литейного производства авиастроительного предприятия можно достигнуть за счет применения современных информационных технологий на этапе конструкторско-технологической подготовки производства [3–5].

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

1. Особенности организации конструкторско-технологической подготовки литейного производства

Литейное производство характеризуется большим разнообразием применяемых технологий [2] (отливка в разовые земляные формы, в кокиль, в машинах под давлением, в оболочковые формы, в металлические формы, центробежное литье, по выплавляемым моделям и др.).

Производственные процессы, протекающие в литейном производстве (приготовление формовочных и стержневых смесей, изготовление и подготовка форм и стержней, приготовление шихты и выплавка металла, заливка металла, выбивка и очистка-обрубка отливок), представляют собой различные технологические операции, взаимосвязанные и сочетающиеся при изготовлении отливок в одной и той же непрерывной технологической последовательности и не допускающие длительных перерывов между отдельными операциями.

Несмотря на высокую материало- и трудоемкость, непростые условия труда и неблагоприятные экологические последствия, литейное производство широко применяется в авиастроении. При анализе литейного производства авиастроительного предприятия были выявлены следующие особенности литых заготовок для изделий авиастроения:

- 1) изготовление большой номенклатуры деталей при относительно малой их серийности;
- 2) пространственная и контурная сложность деталей с обеспечением высоких требований к обеспечению точности изготовления и сборки;
- 3) получение деталей сложной конфигурации от поставщиков для обеспечения точной сборки;
- 4) конструктивная сложность литых металлических деталей, которые имеют большое число поднутрений для снижения их веса, что обуславливает сложность оснастки для изготовления моделей, форм и заготовок.

В силу отмеченной специфики литейного производства его конструкторско-технологическая подготовка является наиболее длительным процессом, значительно влияющим на конечную цену изделия. При этом наиболее трудоемкая и дорогостоящая часть подготовки – это разработка литейной технологии, проектирование и изготовление литейной оснастки, последующий выпуск первой партии изделий с целью отработки на технологичность применяемых методов получения литейных заготовок. В случае внедрения новых технологий особое значение приобретают также анализ, контроль и установление причин возникновения дефектов для определения оптимальных параметров технологического процесса. Таким образом, отработка на технологичность новых методов получения форм и литых заготовок определяют сроки изготовления и качество заготовок для цехов-потребителей предприятия, что в конечном итоге сказывается на эффективности производства [2, 3].

2. Современные информационные технологии, применяемые в литейном производстве

Повышения технико-экономической эффективности литейного производства можно достичь за счет применения на этапе конструкторско-технологической подготовки производства современных информационных технологий, таких как: системы автоматизированного проектирования технологиче-

ских процессов литья, системы компьютерного анализа прочности деталей, компьютерные базы данных и справочные системы, методы изготовления литевых форм и моделей отливок с применением новых информационных технологий. Их использование влияет на сокращение сроков и снижение трудоемкости конструкторско-технологической подготовки производства новой номенклатуры отливок, уменьшения материалоемкости отливок и затрат на их механическую обработку, позволяет прогнозировать и предупредить образование дефектов в отливках.

В настоящее время применение технологии быстрого прототипирования является одним из вариантов повышения эффективности организации конструкторско-технологической подготовки литейного производства за счет изготовления отливок в меньшие сроки с высоким качеством поверхности и низкой доли брака [5]. Эта технология позволяет по моделям деталей из САД-приложений создавать трехмерные физические модели-прототипы без инструментального их изготовления. Для литейного производства возможно применение этой технологии в двух направлениях:

1. Технология Investment Casting – изготовление выжигаемых моделей для литейного производства. На 3D-принтере «печатается» модель отливки, полученная с электронной трехмерной модели детали в любой системе компьютерного проектирования, которая далее, как и при обычной технологии литья по выплавляемым моделям, покрывается прочной коркой, тем самым образуется форма для литья. Напечатанная модель затем выплавляется или выжигается в печи. В этом случае нет необходимости изготавливать по чертежам модельные комплекты для получения самой выплавляемой модели – она изготавливается на основе тех конструкторских и технологических данных, которые уже есть на производстве.

2. Технология Direct Cast – печать литейных песчаных форм для прямого литья цветных металлов и ферронесодержащих сплавов. В этом случае материал, применяемый при печати на 3D-принтере, позволяет «распечатать» стойкую форму, которая может выдерживать температуры до 1000 °С и позволяет изготавливать отливки из цветных сплавов. В этом случае длительность этапа изготовления оснастки также сокращается.

Применение технологии быстрого прототипирования на этапе конструкторско-технологической подготовки производства вносит изменения в последовательность разработки технологического процесса изготовления отливки (рис. 1).

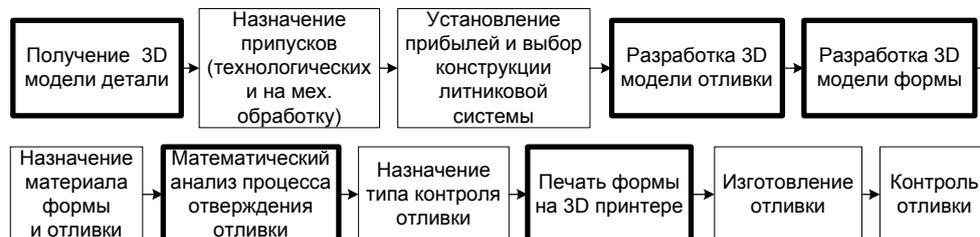


Рис. 1. Этапы разработки технологического процесса изготовления отливки

Проведенный анализ литейного производства предприятия авиастроительной отрасли показал, что технологию быстрого прототипирования целе-

сообразно применять при производстве первой контрольной партии отливок, а также для отливок малой применяемости, при отработке на технологичность литейных форм, при поиске путей улучшения конструктивных особенностей отливок, сокращении количества металла. Снижение доли брака, улучшение качества тела отливок и поверхностей – все это позволит сократить временные и финансовые затраты на их производство и, следовательно, повысит эффективность литейного производства.

3. Повышение эффективности организации конструкторско-технологической подготовки производства литейного производства за счет внедрения информационных технологий

С целью определения причин повышения эффективности на основе анализа нормативной документации и основных процессов литейного производства были разработаны две схемы конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП). На рис. 2 приведена схема КТПП без применения современных информационных технологий. Процесс КТПП при внедрении в производство новой номенклатуры отливок представляет собой последовательность действий от начального этапа разработки требуемой технологической документации до конечного этапа производства годной отливки.

Этапы **2–15** выполняются сотрудниками производства на основании нормативных документов, личного опыта, расчетных схем и типовых технологических процессов. При этом этапы доработки оснастки и конструкторско-технологической документации **5–15** могут быть повторены несколько раз (до момента получения годной партии отливок) и представляют собой опытные испытания оснастки. Завершающим этапом является формирование конструкторско-технологической документации, обеспечивающей процесс получения годных отливок.

На рис. 3 представлена схема, основанная на применении нового подхода к организации КТПП, а именно компьютерное моделирование формы **3а**, компьютерный анализ процесса отверждения отливки для определения технологических параметров процесса литья **4а** и изготовление формы посредством применения технологии быстрого прототипирования и печати форм **10а** и моделей **11а**. В этом случае КТПП осуществляется с использованием современных информационных технологий компьютерного моделирования, анализа процесса литья и применения технологии быстрого прототипирования для получения оснастки – выплавляемой модели или формы для литья. При этом за счет компьютерного моделирования формы исключаются этапы **3, 5, 7, 9, 11, 12, 13** (рис. 2). *Этапы 2, 3а, 4а, 6, 8* (рис. 3) выполняются с помощью современного компьютеризированного подхода к моделированию процесса литья, **10а** – этап изготовления формы путем печати ее на 3D-принтере, этап **11а** – печать выплавляемой модели. Этап доработки формы или модели осуществляется путем внесения изменений в разработанный технологический процесс на основе компьютерного моделирования и расчета процессов взаимодействия в системе отливка–форма.

Компьютерное моделирование процесса литья позволяет сократить количество испытаний формы, подобрать оптимальные параметры технологического процесса, что значительно снизит время на конструкторско-технологическую подготовку запуска в производство новой номенклатуры отливок. При этом технология быстрого прототипирования не требует изготовления

оснастки и разработки технологического процесса для нее, обеспечивает сокращение времени изготовления формы для литья.

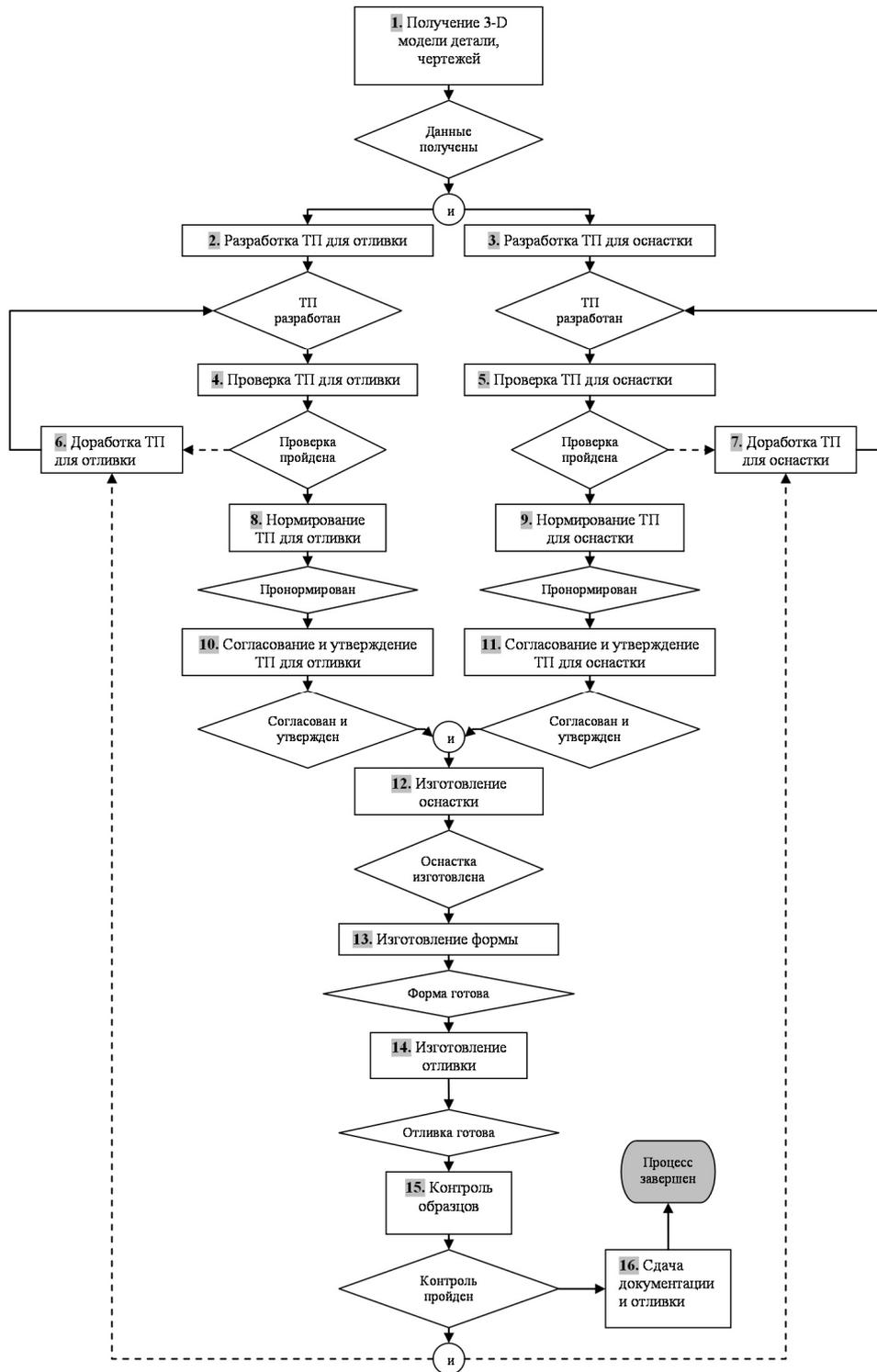


Рис. 2. Схема КТПП без применения новых информационных технологий

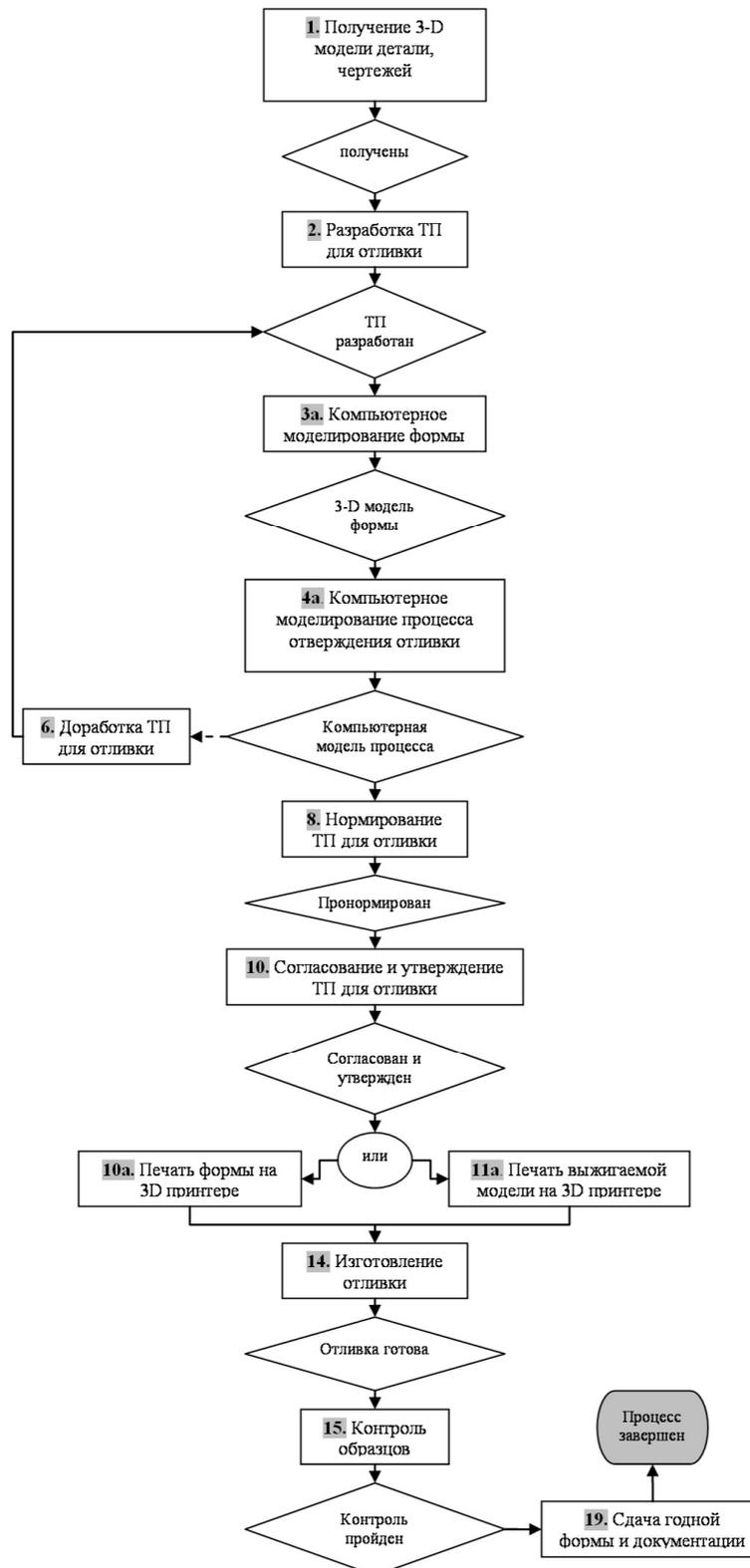


Рис. 3. Схема КТПП с применением новых информационных технологий

Сравнительный анализ эффективности двух схем КТПП предлагается проводить на основе определения и расчета ключевых показателей эффективности литейного производства с учетом такого технологического параметра, как качество поверхности получаемой отливки.

Качество поверхности отливки – показатель технологичности отливки, определяющий степень ее приближения к требуемой точности изготовления и, как следствие, трудоемкость операций чистовой обработки отливки.

Ключевые показатели эффективности, в свою очередь, определяют эффективность расходования ресурсов на каждом из этапов КТПП. Расчет производится по шести выбранным показателям:

1. Выход годного литья K_1 – доля произведенных годных отливок, выраженная в процентах от количества металла, загруженного в плавильную печь; учитывает потери при плавке, заливке в формы, потери на литниковую систему, а также брак и производственные возвраты.

2. Производительность применяемого оборудования K_2 – доля времени, затрачиваемого на производство годной продукции в процентах от общего производственного времени; учитывает затраты на простой производства при формовке, производственные задержки, а также задержки производства из-за бракованных или возвратных отливок.

3. Расход электроэнергии производством K_3 – включает в себя расход энергии для плавки и общий расход энергии литейным производством.

4. Расход формовочных смесей при подготовке производства K_4 .

5. Расход воды производством K_5 .

6. Производительность труда персонала K_6 – общее количество человеко-часов, затраченных на производство годной партии отливок за анализируемый период.

Более эффективной считается та схема, которая обеспечивает наилучшее достижение всех шести показателей эффективности при допустимом значении качества поверхности получаемой отливки.

Заключение

Таким образом, за счет применения современных информационных технологий к начальному и самому важному этапу освоения производства отливок с точки зрения эффективности литейного производства – разработке литейной технологии, проектированию и изготовлению литейной оснастки – возможно достижение высоких качественных показателей, снижение трудоемкости, увеличение производительности труда, сокращение сроков конструкторско-технологической подготовки производства.

Список литературы

1. **Могилев, В. К.** Справочник литейщика / В. К. Могилев, О. И. Лев. – М. : Машиностроение, 1988. – 272 с.
2. **Титов, Н. Д.** Технология литейного производства / Н. Д. Титов, Ю. А. Степанов. – М. : Машиностроение, 1972. – 472 с.
3. **Чумаченко, И. Г.** Повышение эффективности производства : в 3-х т. / И. Г. Чумаченко. – М. : Высшая школа, 1989.
4. **Буданов, Е. Н.** Семь основных мифов и заблуждений относительно литейного производства / Е. Н. Буданов // Литейное производство. – 2009. – № 8. – С. 2–8.

5. **Ткаченко, С. С.** Совершенствование технологии и повышение эффективности литейного производства / С. С. Ткаченко // *Металлург.* – 2008. – № 11. – С. 121–122.

References

1. **Mogilev, V. K.** Spravochnik liteyshchika / V. K. Mogilev, O. I. Lev. – М. : Mashinostroyeniye, 1988. – 272 s.
2. **Titov, N. D.** Tekhnologiya liteynogo proizvodstva / N. D. Titov, YU. A. Stepanov. – М. : Mashinostroyeniye, 1972. – 472 s.
3. **Chumachenko, I. G.** Povysheniye effektivnosti proizvodstva : v 3-kh t. / I. G. Chumachenko. – М. : Vysshaya shkola, 1989.
4. **Budanov, Ye. N.** Sem' osnovnykh mifov i zabluzhdeniy otnositel'no liteynogo proizvodstva / Ye. N. Budanov // *Liteynoye proizvodstvo.* – 2009. – № 8. – S. 2–8.
5. **Tkachenko, S. S.** Sovershenstvovaniye tekhnologii i povysheniye effektivnosti liteynogo proizvodstva / S. S. Tkachenko // *Metallurg.* – 2008. – № 11. – S. 121–122.

Левкина Ольга Юрьевна
аспирант, Ульяновский
государственный университет
(г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42)
E-mail: levkinaoyu@ulsu.ru

Levkina Olga Yuryevna
Postgraduate student,
Ulyanovsk State University
(Ulyanovsk, 42 Lva Tolstogo str.)

УДК 658.512

Левкина, О. Ю.

Применение информационных технологий в организации конструкторско-технологической подготовки литейного производства авиационного предприятия / О. Ю. Левкина // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.* – 2013. – № 1 (25). – С. 115–122.

НЕОБХОДИМОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация. Рассмотрены вопросы совершенствования проектирования технологических процессов в машиностроении за счет проверки обеспечения технологией точности изготовления деталей методами автоматизированного размерного анализа.

Ключевые слова: технологичность, документация, чертеж, анализ, синтез, размерные связи, технологический контроль, изделие, контроль, размерно-точностной.

Y. A. Mokrushin, V. Y. Shamin

NECESSITY OF IMPROVING TECHNOLOGICAL PROCESS PLANNING IN MACHINE BUILDING

Abstract. The article considers the issues of machine building technological processes improvement via the technology of precision manufacturing of details by means of automotive dimension analysis.

Key words: manufacturability, documentation, drawing, analysis, synthesis, dimensional links, technological control, product, operation, notice, monitoring, dimension-and-accuracy.

Введение

Разработка проектного варианта технологического процесса (ТП) – это решение многих взаимосвязанных задач, при исследовании которых приходится учитывать:

- служебное назначение детали в узле изделия и условия ее эксплуатации;
- технические условия на изготовление детали и изделия;
- способ (метод) получения и характеристики исходной заготовки (габаритные размеры, толщина стенок, материал и его твердость, наличие прибылей и уклонов, напусков и т.п.);
- организационно-производственные факторы (программа выпуска, сроки освоения, время выпуска и др.);
- факторы, связанные с работой цехов-смежников (термических, гальванических, сборочных и т.д.).

Кроме того, разработчик должен обеспечить минимальные затраты средств и материалов, транспортных перемещений, предусмотреть возможность автоматизации и концентрации обработки, обеспечить синхронизацию операций.

Выполнение технологий требований чертежа детали

Для нормального функционирования изделия маршрут ТП должен обеспечить выполнение технических требований чертежа детали и сборки

(точность размеров, шероховатость и пространственное расположение поверхностей). Эти условия не всегда удается выполнить без предварительного построения конструкторских и технологических размерных схем и расчета окончательных и промежуточных операционных размеров от чертежа детали до исходной заготовки, расчета глубин резания и их колебаний, длин рабочих ходов суппорта с заготовкой или режущего инструмента и т.д.

Поиск варианта технологии, обеспечивающего качество и экономичность изготовления деталей на основе оптимизации размерно-точностных связей, требует нахождения оптимальных технологических параметров. На данном этапе решается главный вопрос – технологическое обеспечение технических условий на изготовление детали. При этом удовлетворяются следующие условия:

1) сумма операций и переходов по всему ТП должна быть минимальной:

$$\sum n_i \rightarrow \min;$$

2) сумма числа звеньев в размерной цепи, где замыкающее звено – припуск, должна быть по возможности равна 3 (размер на предыдущей операции, размер на данной операции, между ними припуск). Оптимальный ТП будет состоять из таких элементарных технологических блоков, при этом конструкторские, технологические и измерительные базы будут совпадать:

$$\sum m_i \rightarrow 3;$$

3) сумма операционных припусков должна быть минимальной:

$$\sum Z_i \rightarrow \min,$$

4) сумма допусков операционных размеров, составляющих звеньев в цепи на замыкающий конструкторский размер не должна превышать допуск этого размера:

$$[T_A] \geq \sum T_i,$$

На данном этапе решаются вопросы технологической обеспеченности (этот термин мы вводим в практику проектирования технологических процессов и в отработку на технологичность наравне с другими, как, например, технологичность, точность, экономичность и т.п.), т.е. ведется проверка обеспечения технических условий на изготовление детали предложенными технологическими маршрутами и оптимизацией размерных связей на чертежах деталей, заготовок и технологических эскизах. Эти расчеты ведутся столько раз при корректировании исходных данных, пока не будут удовлетворены технические условия чертежа на изготовление. Если изменения исходных данных не дают положительного результата, то пересматривается маршрут обработки, структура операций, готовятся предложения и рекомендации конструктору для корректирования рабочих чертежей по более технологичной постановке размеров. Следует отметить, что данную работу желательно выполнять до окончательного утверждения рабочих чертежей на изделие (рис. 1), а для чертежа заготовки на данном этапе формируется сетка размеров, благоприятная для выполнения соответствующего маршрута обработки.

Распечатки размерных расчетов, подтверждающие технологическую обеспеченность технических условий на изготовление деталей вместе с чер-

тежом детали, в дальнейшем должны быть основой для разработки операционной технологии.

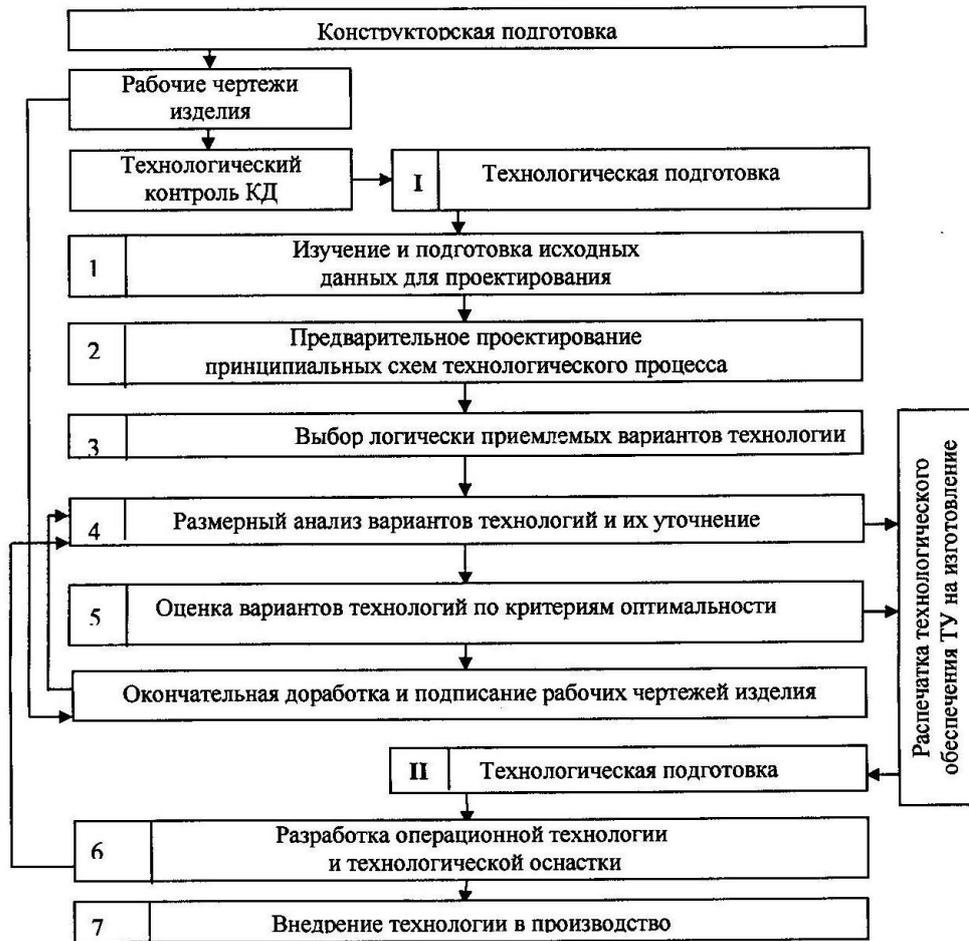


Рис. 1. Этапы проектирования ТП на основе оптимизации размерно-точностных связей

2. Значение технологических размерных расчетов

Без расчета технологических размерных схем по отдельным проекциям чертежа детали невозможно учесть все требования, предъявляемые к ТП для обеспечения им качества изготовления детали. И это выявляется уже только при изготовлении установочных партий детали, что во многих случаях требует корректирования промежуточных и окончательных операционных размеров. А изменение операционных размеров приводит к повторному проектированию и изготовлению, уже в аварийном режиме, дополнительной технологической оснастки.

3. Внедрение размерных технологических расчетов на промышленном предприятии

На одном из передовых предприятий отрасли был проведен следующий эксперимент. Для оценки качества проектных технологических решений при

освоении нового изделия в одном из технологических бюро были подобраны группы деталей, в которые вошли: валы, крышки, корпуса, ступицы, штуцера, кулачки, поршень и другие детали. Разработку маршрутов ТП одновременно выполняли два коллектива технологов. Первый коллектив не владел методикой технологических размерных расчетов. Второй коллектив специалистов разрабатывал процессы с построением и расчетом технологических размерных схем. Каждый из технологов группы разрабатывал по три маршрута ТП. Весь комплекс проводимых работ был разбит на отдельные этапы. Фиксировалось время выполнения этапов по существующей на данном предприятии методике. Анализ результатов показал, что разработка процессов с размерными расчетами потребовала большего времени на выполнение следующих этапов работы:

- а) изучение и анализ различных маршрутов ТП – на 50 %;
- б) построение размерных схем, кодирование и технологический контроль исходной информации размерной схемы – на 25 %;
- в) проведение ручных и автоматизированных размерных расчетов – на 25%.

Затраты времени на размерные расчеты составили от 8 до 95 мин на одну деталь, что связано со сложностью чертежа детали и маршрута ТП. Но при этом ни один из разработанных маршрутов процесса не потребовал доработки при его освоении.

Маршруты ТП, разработанные без размерных расчетов, при их освоении потребовали дополнительных затрат на проектирование и ускоренное изготовление технологической оснастки, непредусмотренной первоначальным проектом. Все это привело к удорожанию подготовки производства новых изделий и увеличению сроков их освоения.

Использование методики проектирования ТП на основе построения и расчета размерных схем с последующей оптимизацией размерных связей [1–6] позволяет перенести решение многих производственных вопросов со стадии освоения на стадию проектирования, где устранение недоработок ТП требует гораздо меньших затрат. При этом успешно решаются следующие задачи:

- рассчитываются размеры исходной заготовки от минимально необходимых припусков, что обеспечивает сокращение расхода материала;
- спроектированные ТП состоят из минимально необходимого количества операций, технологических переходов и рабочих ходов, что снижает трудоемкость изготовления изделий;
- при освоении ТП требуется минимальная корректировка полученной размерной информации или она не потребуется совсем;
- маршрут ТП стабильно гарантирует качество и экономичность изготовления и отсутствие брака по вине технолога.

4. Автоматизация технологических размерных расчетов

Разработка ТП без использования программ автоматизированного построения и расчета размерных цепей – очень трудоемкая задача. Несмотря на некоторое увеличение трудоемкости при анализе и расчете размерных цепей применение ЭВМ позволяет значительно сократить сроки проектирования ТП, повысить качество проектируемых процессов и добиться экономии материальных и трудовых ресурсов.

Известно много графических пакетов, позволяющих вести выполнение чертежной документации на вычислительных машинах, которые совместимы с IBM-XT-AT. Среди них «AutoCAD», «Design View», «MEDUSA», «Personal Designer», «TopCAD», «CheryCAD» и др. Пакеты предназначены для конструкторского проектирования (выполнение чертежной документации) и дизайнерских работ (контрольные прочерчивания, трехмерная графика, параметризация). Для условий действующего производства все пакеты сложны в использовании, и не все из них позволяют снимать с чертежа (или подготовить) полную информацию о промежуточных и окончательных размерах. Если ввод номинальных значений еще имеет место, то ввод допуска и предельных отклонений и, тем более, отклонений формы и расположения поверхностей требует дополнительных средств математического обеспечения, что приводит к англоязычности исходных текстов программ и увеличению сложности прикладных пакетов.

Большую помощь разработчикам оказывает компьютерный технологический редактор типа «МАКЕРИС», который был разработан для достижения главной цели технологического проектирования – обеспечения качества изделия и его деталей, создания иллюстраций ТП (операционных эскизов). В этом редакторе заводской технолог свободно выполняет чертежные работы и не заботится о размерах и точности. Но это относится только к первому этапу его работы. Для размерного анализа и синтеза необходимо проставить размерные линии связей в уже подготовленные эскизы, задав нужные номинальные значения размеров и их точность, в том числе пространственные погрешности.

Поскольку заготовка на технологических эскизах часто изображается в различных проекциях, то появилась потребность фиксации положения заготовки на эскизах относительно координатных направлений и размеров чертежа детали. Для этого условия была реализована новая концепция описания геометрии эскиза – наложение на предварительный эскиз точных размеров. Такой подход формирования графики в технологическом проектировании представляется перспективным, так как обеспечивает простой ввод графического изображения заготовки и задание только необходимого минимума выполняемых размеров с исчерпывающими размерными характеристиками.

5. Подготовка данных для автоматизации технологических расчетов

Подготовка данных о размерных связях с использованием технологического редактора «МАКЕРИС» производится на экране монитора в следующей последовательности:

а) ввод чертежа детали. На этом этапе пользователь вводит чертеж детали, используя редактор «МАКЕРИС». Редактор прост в использовании, обладает высокой компактностью графического векторного формата, имеет встроенные готовые графические технологические элементы (блоки). Если чертеж подготовлен ранее конструктором в редакторе «AutoCAD», то имеется возможность импорта в формат «МАКЕРИС». В процессе вычерчивания на экране монитора нет необходимости соблюдать размеры. Графические изображения выполняются методом «эскизирования»;

б) ввод чертежа исходной заготовки. Чертеж заготовки формируется на экране с использованием уже введенной графической информации о детали;

в) ввод операционных эскизов. Производится аналогично вводу чертежей.

После ввода чертежей и технологических эскизов возможен их оперативный просмотр в разнообразных режимах (по отдельности каждый, в комплекте: «текущий эскиз – заготовка – деталь», уменьшенное изображение в виде слайда, а также их вывод на печатающее устройство). Практически после выполнения второго этапа подготовлен комплект эскизов для оформления документации на ТП. Технолог может ограничиться этим, не выполняя последующие этапы. Таким образом, система не навязывает технологу лишней работы по вводу точных размерных связей, если этого ему не требуется на данный момент.

Введенная графическая информация последовательно (чертежи и эскизы по отдельности) захватывается специальной программой, с помощью которой идет подготовка списка размерных связей по выбранным координатным направлениям для размерного расчета. Последовательное продвижение по чертежам и эскизам ведет программа-менеджер. Она же загружает по необходимости редактор «МАКЕРИС», визуализаторы графики и программу подготовки размерных связей. Программой подготовки размерных связей предусмотрена привязка введенной операционной сетки размеров по всему ТП к координатам чертежа детали, так как на операционных эскизах заготовки часто по-разному ориентированы относительно координатных осей детали. После пооперационной подготовки списка размерных связей производится автоматическое слияние данных о размерных связях детали, исходной заготовки и операционных эскизов по каждому координатному направлению в единый файл, готовый для проведения размерного анализа. Трудоемкость выполнения всех видов работ, связанных с проектированием ТП на основе оптимизации размерно-точностных связей, несколько увеличивается по сравнению с существующей методикой, однако тот труд, который затратит технолог на стадии проектирования, многократно окупится при внедрении ТП в действующее производство.

Заключение

Таким образом, разработки теоретических основ размерного анализа и синтеза ТП в машиностроении получили практическое и программное развитие.

В Южно-Уральском государственном университете (ЮУрГУ) разработан учебно-методический комплекс (УМК) и пакет прикладных программ (ППП) новой дисциплины ОПД.Р.02 «Размерно-точностное проектирование и обеспечение технологичности изделия» [4, 5]. В ЮУрГУ и в учебных центрах промышленных предприятий ведется подготовка специалистов по новой дисциплине применительно к условиям действующего производства и с использованием компьютерной версии «ППП УМК «Druza»¹.

Российская промышленность остро нуждается в таких специалистах и готова принимать в конструкторско-технологические службы предприятия выпускников высших и средних учебных заведений, владеющих теорией и практикой размерных расчетов.

¹ <http://www.board74.ru/machine/28.html>

Список литературы

1. **Мокрушин, Ю. А.** Проектирование и технико-экономический анализ технологических процессов / Ю. А. Мокрушин, А. А. Костицина ; под общ. ред. Ю. А. Мокрушина. – Ижевск : Удмуртский университет, 2000. – 313 с.
2. **Мокрушин, Ю. А.** Экономическое значение автоматизации размерно-точных расчетов при проектировании технологических процессов в машиностроении / Ю. А. Мокрушин, В. Ю. Шамин // Изв. Челяб. науч. центра УрО РАН. – 2009. – № 1 (43). – С. 26–30
3. **Mokrushin, Ju. A.** The economic significance of automatization in measure-precise calculations at the designing of technological processes in machine-building / Ju. A. Mokrushin, V. Ju. Shamin // Изв. Челяб. научн. центра УрО РАН. – 2009. – № 1 (43). – С. 52–56.
4. **Шамин, В. Ю.** Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей : учеб. пособие. / В. Ю. Шамин. – 4-е изд., перер. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 530 с.
5. **Шамин, В. Ю.** Теория и практика размерно-точного проектирования: монография / В. Ю. Шамин. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 520 с.
6. **Шамин, В. Ю.** От рабочего станочника до профессионала машиностроителя : учеб.-метод. комплекс новой дисциплины / В. Ю. Шамин // Изв. Челяб. научн. центра УрО РАН. – 2009. – № 1 (43). – С. 41–46.

References

1. **Mokrushin, YU. A.** Proyektirovaniye i tekhniko-ekonomicheskiiy analiz tekhnologicheskikh protsessov / YU. A. Mokrushin, A. A. Kostitsina ; pod obshch. red. YU. A. Mokrushina. – Izhevsk : Udmurtskiy universitet, 2000. – 313 s.
2. **Mokrushin, YU. A.** Ekonomicheskoye znacheniye avtomatizatsii razmernotochnostnykh raschetov pri proyektirovanii tekhnologicheskikh protsessov v mashinostroyenii / YU. A. Mokrushin, V. YU. Shamin // Izv. Chelyab. nauch. tsentra UrO RAN. – 2009. – № 1 (43). – S. 26–30
3. **Mokrushin, Ju. A.** The economic significance of automatization in measure-precise calculations at the designing of technological processes in machine-building / Ju. A. Mokrushin, V. Ju. Shamin // Izv. Chelyab. nauchn. tsentra UrO RAN. – 2009. – № 1 (43). – S. 52–56.
4. **Shamin, V. YU.** Teoriya i praktika resheniya konstruktorskikh i tekhnologicheskikh razmernykh tsepey : ucheb. posobiye. / V. YU. Shamin. – 4-ye izd., perer. Chelyabinsk : Izd-vo YUUrGU, 2005. – 530 s.
5. **Shamin, V. YU.** Teoriya i praktika razmerno-tochnostnogo proyektirovaniya: monografiya / V. YU. Shamin. – Chelyabinsk : Izd-vo YUUrGU, 2007. – 520 s.
6. **Shamin, V. YU.** Ot rabocheho stanochnika do professinala mashinostroitelya : ucheb.-metod. kompleks novoy distsipliny / V. YU. Shamin // Izv. Chelyab. nauchn. tsentra UrO RAN. – 2009. – № 1 (43). – S. 41–46.

Мокрушин Юрий Андреевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра экономики, Удмуртский
государственный университет
(г. Ижевск, ул. Университетская, 1)

E-mail: mokrushin@inem.uni.udm.ru

Mokrushin Yuriy Andreevich

Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of economics, Udmurtiya
State University (Izhevsk,
1 Universitetskaya str.)

Шамин Владимир Юрьевич

кандидат технических наук, профессор,
кафедра технологии машиностроения,
Южно-Уральский государственный
университет (г. Челябинск,
просп. Ленина, 76)

E-mail: svu@susu.ac.ru

Shamin Vladimir Yuryevich

Candidate of engineering sciences,
professor, sub-department of machine
building technology, South Ural State
University (Chelyabinsk, 76 Lenina ave.)

УДК 658.512-52+681.3.06.+621.002.2+378.016

Мокрушин, Ю. А.

Необходимость совершенствования проектирования технологических процессов в машиностроении / Ю. А. Мокрушин, В. Ю. Шамин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – С. 123–130.

Вниманию авторов!

Редакция журнала «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки» приглашает специалистов опубликовать на его страницах оригинальные статьи, содержащие новые научные результаты в области информатики, вычислительной техники, управления, электроники, измерительной техники, радиотехники, машиностроения, машиноведения, а также обзорные статьи по тематике журнала.

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редколлегией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows версий не выше 2003.

Необходимо представить статью в электронном виде (VolgaVuz@mail.ru, дискета 3,5", CD-диск) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах.

Оптимальный объем рукописи 10–14 страниц формата А4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt через полуторный интервал. Тип файла в электронном виде – RTF.

Статья обязательно должна сопровождаться индексом УДК, а также краткой аннотацией.

Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, BMP с разрешением 300 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисовочными надписями.

Формулы в тексте статьи выполняются в редакторе формул Microsoft Word Equation, версия 3.0 и ниже. Символы греческого и русского алфавита должны быть набраны прямо, нежирно; латинского – курсивом, нежирно; обозначения векторов и матриц прямо, жирно; цифры – прямо, нежирно. Наименования химических элементов набираются прямо, нежирно. Эти же требования необходимо соблюдать и в рисунках. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

В списке литературы нумерация источников должна соответствовать очередности ссылок на них в тексте. Номер источника указывается в квадратных скобках. В списке указывается:

- для книг – фамилия и инициалы автора, название, город, издательство, год издания, том, количество страниц;
- для журнальных статей, сборников трудов – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название журнала или сборника, серия, год, том, номер, выпуск, страницы;
- для материалов конференций – фамилия и инициалы автора, название статьи, название издания, время и место проведения конференции, город, издательство, год, страницы.

В конце статьи допускается указание наименования программы, в рамках которой выполнена работа, или наименование фонда поддержки.

К материалам статьи должна прилагаться информация для заполнения учетного листа автора: фамилия, имя, отчество, место работы и должность, ученая степень, ученое звание, адрес, контактные телефоны, e-mail.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Рукопись, полученная редакцией, не возвращается.

Редакция оставляет за собой право проводить редакторскую и допечатную правку текстов статей, не изменяющую их основного смысла, без согласования с автором.

Статьи, оформленные без соблюдения приведенных выше требований, к рассмотрению не принимаются.

Уважаемые читатели!

Для гарантированного и своевременного получения журнала «**Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки**» рекомендуем вам оформить подписку.

Журнал выходит 4 раза в год по тематике:

- ***информатика***
- ***вычислительная техника***
- ***управление***
- ***электроника***
- ***измерительная техника***
- ***радиотехника***
- ***машиностроение***
- ***машиноведение***

Стоимость одного номера журнала – 500 руб. 00 коп.

Для оформления подписки через редакцию необходимо заполнить и отправить заявку в редакцию журнала: факс (841-2) 56-34-96, тел.: 36-82-06, 56-47-33; E-mail: VolgaVuz@mail.ru

Подписку на первое полугодие 2013 г. можно также оформить по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ» «Газеты. Журналы» тематический раздел «Известия высших учебных заведений». Подписной индекс – 36966

ЗАЯВКА

Прошу оформить подписку на журнал «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки» на 2013 г.

№ 1 – _____ шт., № 2 – _____ шт., № 3 – _____ шт., № 4 – _____ шт.

Наименование организации (полное) _____

ИНН _____ КПП _____

Почтовый индекс _____

Республика, край, область _____

Город (населенный пункт) _____

Улица _____ Дом _____

Корпус _____ Офис _____

ФИО ответственного _____

Должность _____

Тел. _____ Факс _____ E-mail _____

Руководитель предприятия _____

(подпись)

(ФИО)

Дата «___» _____ 2013 г.