

**Міністерство освіти і науки України
Національний гірничий університет**

**Збірник наукових праць
Національного гірничого університету**

**№33
Том 2**

**Дніпропетровськ
2009**

УДК 622 (06)

Засновник та видавець
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ
рік заснування – 1999

**Збірник наукових праць НГУ № 33, Том 2 – Дніпропетровськ: РВК
НГУ, 2009.– 144 с.**

У збірнику приведено результати теоретичних і експериментальних досліджень з різних аспектів гірничої справи, розглянуто проблеми відкритої і підземної розробки родовищ корисних копалин, охорони праці і безпеки робіт на гірничих підприємствах, проблеми екології, маркшейдерії, геології, геоінформатики, електропостачання й автоматизації виробничих процесів у гірничій промисловості, освітлені питання експлуатації гірничо-транспортного устаткування на шахтах, рудниках і кар'єрах.

Матеріали збірника призначені для наукових і інженерно-технічних працівників, що спеціалізуються в галузі гірничої справи.

Збірник друкується за рішенням Вченої Ради НГУ
(протокол № 5 від 30.06.2009 р.)

Комп'ютерна верстка і набір – В.В. Задорнова

Збірник зареєстровано у державному комітеті
телебачення і радіомовлення України
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 9030 від 04.08.2004 р.

© Національний гірничий університет, 2009

Редакційна Рада збірника:

акад. НАН України, д.т.н., проф. Г.Г. Півняк
д.т.н., проф. П. І. Пілов
д.т.н., проф. О.С. Бешта
д.т.н., проф. О. М. Шашенко
д.т.н., г.н.с. О.В. Зберовський

Редакція:

головний редактор – д.т.н., г.н.с. О.В. Зберовський
заступник редактора – д.т.н., проф. С.Ф. Власов
заступник редактора – к.т.н., доц. В.В. Ішков
відповідальний секретар – н.с. В. В. Задорнова

Експертно-редакційна колегія:*Відкрита розробка РКК*

Гуменик І. Л. – д.т.н., проф.
Дриженко А. Ю. – д.т.н., проф.
Четверик М. С. – д.т.н., проф.
Прокопенко В. І. – д.т.н., проф.
Симоненко В. І. – д.т.н., доц.

Збагачення корисних копалин

Пілов П. І. – д.т.н., проф.
Младецький І. К. – д.т.н., проф.
Полулях О. Д. – д.т.н., проф.
Туркеніч О. М. – д.т.н., проф.
Франчук В. П. – д.т.н., проф.
Мостика Ю.С. – д.т.н., проф.

Екологічна безпека

Зберовський О.В. – д.т.н., г.н.с.
Шапарь А.Г. – д.т.н., проф.
Бойко В.О. – д.т.н., проф.
Кременчуцький М.Ф. – д.т.н., проф.
Горова А.І. – д.б.н., проф.

Підземна розробка РКК

Бондаренко В. І. – д.т.н., проф.
Кузьменко О. М. – д.т.н., проф.
Пономаренко П.І. – д.т.н., проф.
Бузило В.І. – д.т.н., проф.
Ковалевська І.А. – д.т.н., проф.

Маркшейдерія

Парчевський Л. Я. – д.т.н., проф.
Четверик М. С. – д.т.н., проф.
Халимендик Ю.М. – д.т.н., проф.
Шашенко О.М. – д.т.н., проф.
Петрук Є.Г. – д.т.н., проф.
Назаренко В.О. – д.т.н., проф.

Шахтне і підземне будівництво

Шашенко О.М. – д.т.н., проф.
Пономаренко П.І. – д.т.н., проф.
Роєнко А.М. – д.т.н., проф.
Сдвіжкова О.А. – д.т.н., проф.
Соболев В.В. – д.т.н., проф.

Геотехнічна і гірнична механіка

Садовенко І.О. – д.т.н., проф.
Бондаренко В.І. – д.т.н., проф.
Шашенко О.М. – д.т.н., проф.
Власов С.Ф. – д.т.н., проф.
Новікова Л.В. – д.т.н., проф.
Москальов О.М. – д.т.н., проф.

Геологія та геофізика

Нагорний Ю.М. – д.г.-м.н., проф.
Доброгорський М.О. – д.г.-м.н., проф.
Нагорний В.М. – д.г.-м.н., проф.
Приходченко В.Ф. – д.геол.н., проф.
Додатко О.Д. – д.г.-м.н., проф.
Бусигін Б.С. – д.т.н., проф.
Тяпкін К.Ф. – чл.-кор., д.г.-м.н., проф.

*Гірничі машини.**Динаміка і міцність машин*

Франчук В.П. – д.т.н., проф.
Самуся В.І. – д.т.н., проф.
Блохін С.Є. – д.т.н., проф.
Заболотний К.С. – д.т.н., проф.
Ширін Л.Н. – д.т.н., проф.
Кіріченко Є.О. – д.т.н., проф.

Буріння свердловин

Кожевников А.О. – д.т.н., проф.
Власов С. Ф. – д.т.н., проф.
Москальов О.М. – д.т.н., проф.
Симанович Г.А. – д.т.н., проф.
Франчук В.П. – д.т.н., проф.

Електротехнічні комплекси і системи

Півняк Г. Г. – акад., д.т.н., проф.
Шкрабець Ф.П. – д.т.н., проф.
Заїка В.Т. – д.т.н., проф.
Випанасенко С.І. – д.т.н., проф.
Бешта О.С. – д.т.н., проф.

Автоматизація технологічних процесів

Ткачов В.В. – д.т.н., проф.
Кузнецов Г.В. – д.т.н., проф.
Бешта О.С. – д.т.н., проф.
Кочура Є.В. – д.т.н., проф.
Слесарев В.В. – д.т.н., проф.

Охорона праці

Голінько В.І. – д.т.н., проф.
Бойко В.О. – д.т.н., проф.
Кременчуцький М.Ф. – д.т.н., проф.
Зберовський О.В. – д.т.н., г.н.с.
Шкрабець Ф.П. – д.т.н., проф.

Адреса редакції:

49005, Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19,
НГУ, Зберовському О.В. тел./ факс 46-87-19,
46-90-98, E-mail: zberovskiA@nmu.org.ua

Требования к оформлению статей в «Сборник научных трудов НГУ»

Требования к оформлению статей для опубликования в «Сборник научных трудов НГУ»

С учетом нормативных требований к оформлению печатных статей, рекомендаций Книжной Палаты Украины от 07.09.04 № 1291/11 и постановления ВАК Украины от 21.03.2008 № 1-04/5 «Про затвердження нових вимог до періодичних наукових фахових видань» к опубликованию в специализированном «Сборнике...» принимаются статьи, содержащие новые научные и практические результаты исследований авторов, которые ранее не публиковались и отвечают профилю «Сборника...». Структура научной статьи должна содержать следующие элементы: постановка проблемы; анализ последних достижений и публикаций, в которых заложено решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья; формулирование целей статьи (постановка задачи); изложение основного материала исследований с полным обоснованием полученных научных результатов; выводы по данному исследованию; список использованных источников.

Рекомендуемая структура статьи:

- **вступление** – постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими программами; анализ последних достижений и публикаций в которых заложено решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья (до 40 строк);
- **формулирование целей статьи** (постановка задачи) (до 20 строк);
- **изложение основного материала исследований** с полным обоснованием полученных научных результатов (5-8стр.);
- **выводы** по данному исследованию с указанием новизны, теоретической и практической значимости полученных научных результатов, перспективы дальнейшего развития в данном направлении (до 30 строк);
- **список использованных источников** - ссылки на литературные источники (не более 5), как правило, приводятся во вступлении при анализе последних достижений и публикаций на которые опирается автор.

Текст статьи (на русском, украинском или английском языках) объемом 6-10 стр., включая таблицы, графики и рисунки, подается в редакцию на электронном носителе и с распечаткой 1 экз. на листах формата А4. Текст следует набирать шрифтом Times New Roman 14 пунктов в редакторе Microsoft Office Word, все поля по 2 см и оформить следующим образом:

- * УДК – вверху слева, без отступов;
- * Инициалы, фамилия автора – следующая строка, выравнивание по правому краю;
- * Название статьи - заглавными буквами, жирно, выравнивание по центру; переносы и аббревиатура недопустимы;
- * Аннотация (до 5 строк) на русском, украинском и английском языках, размер 12 пт, отступ первой строки 0,5 см;
- * Текст форматруется с выравниванием по ширине и междустрочным интервалом -1,0; отступ первой строки 1,2 см; абзацные отступы и интервалы – недопустимы; расстановка переносов автоматическая, номера страниц не проставляются.
- * *Простые формулы* в тексте набираются курсивом с помощью символов редактора Word, *сложные формулы* должны быть выполнены в приложении Equation Editor, соблюдая размеры, приведенные на рис. ⇔
- * Таблицы, графики и подписи к ним располагаются непосредственно в тексте и внедряются в документ как объекты, если они были созданы в Excel и др. приложениях.
- * Рисунки должны быть в черно-белом изображении и вставлены в текст в местах ссылки на них.
- * Список литературы приводится в порядке ссылок в тексте, в соответствии с ДСТУ ГОСТ 7.1:2006, размером 12 пт.

Размеры	
Обычный	14 пт
Крупный индекс	12 пт
Мелкий индекс	11 пт
Крупный символ	16 пт
Мелкий символ	12 пт

Образец набора

УДК 550.83

© И.В. Петрова

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРПАТ ИЗ КОСМОСА

Приведены результаты геологической дешифровки материалов космических геофизических съемок Карпат.
Наведено результати геологічного дешифрування матеріалів космічних геофізичних зйомок Карпат.
Results of geological photointerpretation of materials of space geophysical surveys of Karpat are considered.

По материалам космических геофизических съемок получают разнообразную геолого-геофизическую информацию

Список литературы

1. Ландау Л.Д. Статистическая физика. Серия 1. Теоретическая физика. Т. V. –М.: Наука, 1979.-268 с.
2. Архипов Ю.Р. Программное обеспечение для обработки геофизической информации// Горный журнал.-2002.-№11.-С.10-15

В редакцию «Сборника...» необходимо подать:

1. Электронный вариант и распечатанную **справку об авторах**:

Фамилия, имя, отчество; место работы (полное название организации и её почтовый адрес); должность; ученая степень; номера контактных телефонов, E-mail.

2. **Экспертное заключение** о возможности опубликования материалов в открытой печати.

3. **Выписку** из протокола кафедры /лаборатории, отдела/ отражающую: общий характер статьи (работа фундаментального или прикладного значения, экспериментальная (результаты моделирования, данные промышленных испытаний...), теоретическая (описание нового метода расчёта...) и т.п.; соответствие материалов паспорту выбранной специальности (шифр); личный вклад автора; новизну полученных результатов; рекомендации к публикации.

Телефоны для справок:

т/ф (0562) 468-719 Зборовский Александр Владиславович - главный редактор,
469-098 Задорнова Виктория Валериевна - ответственный секретарь.

РАСЧЕТ ЗАГРУЗКИ КАНАЛА CAN СЕТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Рассматривается применение математического моделирования для построения зависимости загрузки канала CAN сети системы передачи видеоинформации в условиях угольной шахты. Обосновывается выбор параметров передачи видеоинформации. Показана зависимость увеличения коэффициента загрузки канала от количества камер наблюдения и периода их опроса.

Розглядається застосування математичного моделювання для побудови залежності завантаження каналу CAN мережі системи передачі відеоінформації в умовах вугільної шахти. Обґрунтовується вибір параметрів передачі відеоінформації. Показана залежність збільшення коефіцієнта завантаження каналу від кількості камер спостереження та періоду їх опитування.

Application of the mathematical modeling for the construction of channel loading CAN networks of the video information transmission system in the conditions of coal mine is examined. The choice of parameters of video information transmission is grounded. Dependence of increase in a loading factor of the channel on quantity of video cameras and the period of their query period is shown.

Вступление. Угольная промышленность Украины характеризуется сложностью горно-геологических условий и технологических процессов добычи угля. Несмотря на меры по совершенствованию техники безопасности, эта отрасль остается наиболее опасной. Одним из пожароопасных объектов можно выделить конвейерные выработки. Процесс транспортировки угля из шахты на поверхность земли осуществляется при помощи конвейерного транспорта – ленточных конвейеров. Из [1] известно, что длина конвейера зависит от прочности материала, из которого изготовлена лента, и составляет для горизонтальных конвейеров от 300-400 м (хлопчатобумажная лента) до 3-5 км (тросовая лента). Длина наклонных конвейеров в 3-5 раз меньше. Если уголь транспортируется на большие расстояния, то отдельные конвейеры объединяют в единую систему транспортировки – конвейерную линию. Используемые на сегодняшний день комплексы автоматизированного управления конвейерными линиями, такие как АУК.10М, АУК.2М и САУКЛ, имеют в составе датчики контроля завала мест соединения отдельных конвейеров, называемые перегрузочными пунктами. Однако эти системы не отвечают современным требованиям к автоматизации конвейерных линий, предусматривающим увеличение объема информации, выводимой на пульт горного диспетчера, и повышение показателей надежности элементов системы контроля.

В [2] проведен анализ готовых промышленных сетевых решений для создания системы передачи информации на большие расстояния в шахтных условиях, основанных на полевых шинах Modbus, CAN, Interbus и Profibus. Представлен ряд отличий шины CAN (Controller Area Network), который выгодно выделил ее из приведенного перечня продуктов.

Формулирование цели исследования. В данной работе рассматривается решение задачи реализации мониторинга перегрузочных пунктов на конвейерной линии с применением полевой шины CAN для анализа горным диспетче-

ром, а именно, разрабатывается модель загрузки канала передачи данных CAN сети для определения параметров структурной схемы системы видеоконтроля. Цель расчета загрузки канала CAN сети – это обеспечение количества пакетов в сети ниже того уровня, при котором производительность системы резко падает.

Изложение основного материала исследований. Разрабатываемая система предназначена для непрерывного автоматического сбора информации о состоянии перегрузочных пунктов на конвейерной линии в угольной шахте, накопления и отображения ее на мониторе горного диспетчера. Сбор информации предлагается выполнять с помощью видеокамер наблюдения. Количество камер наблюдения принимается с расчетом по одной на каждый контролируемый перегрузочный пункт.

В первую очередь необходимо построить структурную схему сети передачи данных с контролируемых объектов на пульт горного диспетчера. В условиях угольной шахты возникает необходимость передачи информации на большие расстояния. В промышленности полевая шина CAN занимает первое место по распространенности благодаря выгодному сочетанию скорости и надежности передачи информации через последовательный интерфейс, простоте организации сети и дешевизне. Физический уровень CAN дает возможность использовать витую пару, оптоволоконный кабель, радиоканал. Для организации CAN сети рассматриваемой задачи рекомендуется использовать неэкранированную витую пару. Было принято расстояние CAN шины 5000 м. Пропускная способность CAN канала по спецификации ISO согласно выбранному расстоянию составляет 10 Кбит/с. Видеокамеры наблюдения подключаются к портам ввода/вывода CAN контроллеров. Подключение CAN контроллера к шине происходит через дифференциальный приемопередатчик для повышения помехоустойчивости передаваемого сигнала. Общее число узлов будет ограничено временной задержкой и электрической нагрузкой на линии шины.

При скорости передачи данных 10 Кбит/с затруднительно передавать изображения высокого качества и значительного объема. В связи с повышенной пыленностью, а также малой освещенностью контролируемого объекта использование камер с высокой цветопередачей изображения (свыше 8 бит) является малоэффективным. Поэтому съемка изображений разрешением 320x240 пикселей в 8-битовом формате со вспышкой или в инфракрасном спектре является достаточной для анализа технологического объекта наблюдения горным диспетчером.

Была разработана структурная схема системы видеоконтроля перегрузочных пунктов на конвейерной линии в угольной шахте, представленная на рис. 1.

Важнейшая проблема проектирования, которая существует в сетях с ретрансляцией кадров – управление перегрузкой. На каждом контроллере сети передачи данных существует очередь кадров для каждого исходящего канала. Если скорость поступления кадров в очередь превышает скорость передачи кадров, размер очереди неограниченно растет и, соответственно, увеличивается время задержки кадра. Даже если скорость поступления кадров меньше, чем их скорость передачи, длина очереди заметно увеличивается по мере приближения скорости поступления к скорости передачи.

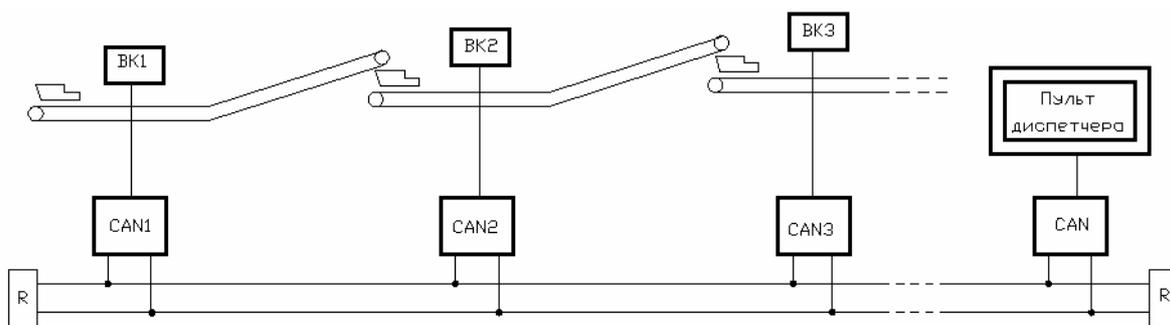


Рис. 1. Структурная схема сети передачи данных:

ВК – видеокамера, CAN – контроллер, R – резисторы сопротивлением 120 Ом для предотвращения отражений электрических сигналов от концов линий

На практике когда линия, по которой передаются пакеты, используется более чем на 80%, длина очереди растет очень быстро, что известно из [3]. Кроме того, поскольку размер любой очереди конечен, то по мере увеличения ее длины, в конечном счете, очередь должна переполниться. Задача расчета загрузки канала CAN – определение такого количества кадров в сети, при котором производительность системы будет достаточно высокой.

Большое количество производственных задач и ситуаций может быть описано системами массового обслуживания. В качестве источника заявок выступает все множество конечных узлов – видеокамеры наблюдения. Требованиями, поступающими на обслуживание, являются CAN-кадры (фреймы). Обслуживающим аппаратом является CAN канал передачи данных. Кроме того, CAN контроллеры также являются приемниками и обработчиками требований. Входящий поток требований соответствует пуассоновскому закону распределения, а время обслуживания – показательному. Таким образом, представленную задачу можно отнести к задачам массового обслуживания. Система видеоконтроля относится к разомкнутым системам, так как требования поступают извне и интенсивность их потока не зависит от состояния системы. Поступающий на вход системы поток требований может быть обслужен одним аппаратом, то есть система относится к одноканальным. Так как требования в любом случае становятся в очередь и ждут обслуживания, то рассматриваемая система с неограниченной длиной очереди. Известно, что CAN интерфейс поддерживает два нижних уровня эталонной модели OSI: физический и канальный. Значит информация в сети передается кадрами, которые и являются требованиями в системе массового обслуживания.

Для рассматриваемой задачи была разработана структура системы обслуживания кадров с очередью и определены ее параметры (рис. 2).

Таким образом, для расчета разомкнутой одноканальной системы массового обслуживания с ожиданием из источника [4] используются зависимости интенсивности поступления требований в систему массового обслуживания, интенсивности обслуживания требований и коэффициента загрузки (использования) обслуживающего устройства.

Исходными данными для расчета были: изображения со средним объемом 5 Кбайт, пропускная способность канала передачи данных 10 Кбит/с, интервал опроса камер наблюдения от 30 до 240 с, число камер от 5 до 25.

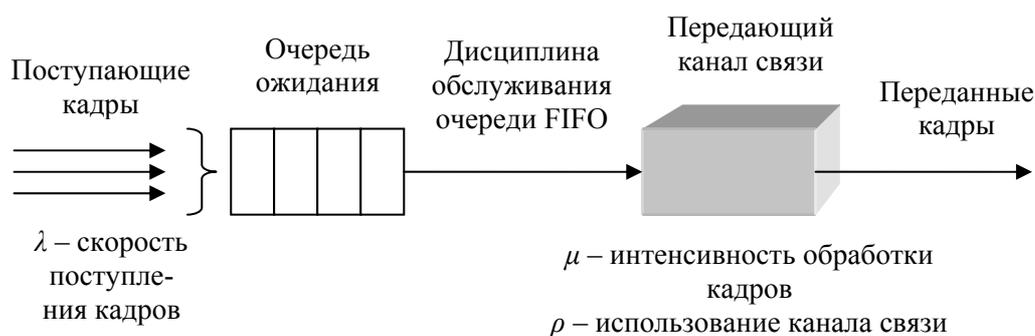


Рис. 2. Структура системы обслуживания кадров с очередью

Любая физическая среда (будь то медный кабель, оптоволокно или беспроводной канал), предназначенная для передачи информации, вносит определенную временную задержку распространения сигнала. Эта задержка зависит от длины линии связи и пропускной способности передающей среды. Выше был выбран кабель неэкранированная витая пара. Скорость распространения электрического сигнала по медному проводнику принято считать равной или близкой к скорости света в вакууме – $3 \cdot 10^8$ м/с. Задержка распространения одного бита информации по линии связи есть отношение протяженности линии к скорости распространения.

Информация в сети передается кадрами, в которых последовательности битов кодированы согласно определенному алгоритму в электрический сигнал различной частоты и амплитуды. Следовательно, общее время пересылки одного кадра равняется времени, прошедшему между отправкой передатчиком первого бита информации и получением приемником последнего бита. Данная величина рассчитывается путем сложения времени задержки распространения одного бита информации с временем передачи одного кадра данных.

С учетом длины CAN кадра и межкадровых сообщений необходимо выполнить расчет зависимости загрузки канала передачи данных от количества камер наблюдения и периода их опроса. Исходные данные для расчета загрузки канала связи представлены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные расчетные данные

№	Названия параметров	Значения
1	Формат изображения, пиксель	320x240
2	Качество цветопередачи, бит	8
3	Объем изображения с учетом сжатия, Кбайт	5
4	Объем изображения, бит	40960
5	Объем поля данных кадра CAN-2.0A, бит	64
6	Количество кадров одного изображения, кадр	640
7	Объем одного кадра CAN-2.0A, бит	108
8	Объем межкадрового сообщения, бит	3
9	Общий объем сообщения CAN-2.0A, бит	71040
10	Максимальное расстояние передачи данных, м	5000
11	Скорость передачи по CAN шине, Кбит/с	10
12	Задержка распространения одного бита информации, с	$8,33 \cdot 10^{-6}$
13	Общее время передачи одного кадра CAN-2.0A, с	$10,85 \cdot 10^{-3}$

Результаты расчетов представлены в виде графиков на рис. 3.

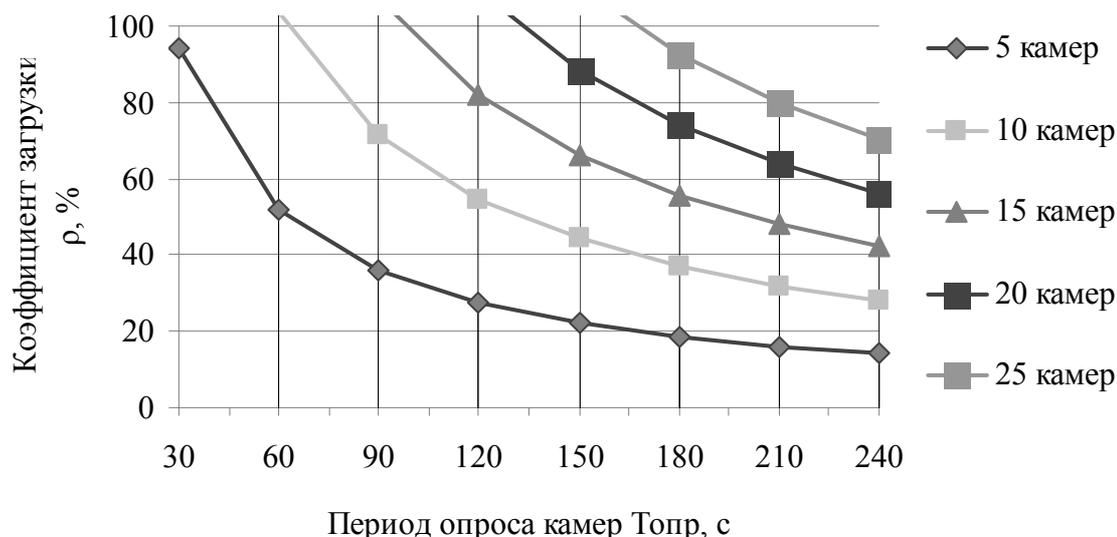


Рис. 3. Зависимость загруженности канала связи от интервала опроса и количества камер

Моделирование можно выполнить не только с использованием известной теории массового обслуживания, существуют также специализированные языки программирования. Для дискретных систем широкое распространение получил пакет моделирования GPSS World. Согласно рассматриваемой задаче для написания программы модели были использованы такие типы объектов инструментального средства GPSS: транзакты; блоки, осуществляющие модификацию атрибутов транзактов; блоки, описывающие объекты аппаратной категории; блоки, обеспечивающие получение статистических результатов; одноканальные устройства; объекты вычислительной и статистической категорий. Информация об объектах GPSS была записана в виде последовательности операторов. В таблице 2 приведены результаты моделирования для системы контроля с пятью камерами наблюдения и диапазоном периода их опроса от 30 до 240 с.

Таблица 2

Результаты моделирования в среде GPSS World

Устройство модели FACILITY	Количество занятий устройства ENTRIES	Коэффициент использования UTIL., отн. ед.
CAN ($T_{опр}=30с$)	2923	0.940
CAN ($T_{опр}=60с$)	1613	0.519
CAN ($T_{опр}=90с$)	1113	0.358
CAN ($T_{опр}=120с$)	850	0.273
CAN ($T_{опр}=150с$)	688	0.221
CAN ($T_{опр}=180с$)	577	0.186
CAN ($T_{опр}=210с$)	497	0.160
CAN ($T_{опр}=240с$)	437	0.141

Точность выполненных расчетов с помощью теории систем массового обслуживания и инструментального средства GPSS World достигает 0,01%.

Таким образом, зная приемлемый коэффициент загрузки канала передачи данных 80%, можно использовать разработанную модель для определения интервала съемки изображений видеокамерой при определенном количестве перегрузочных пунктов на конвейерной линии в угольной шахте, то есть камер наблюдения.

Выводы. Построена структурная схема сети передачи данных и выбраны ее параметры, такие как: протяженность линии связи, пропускная способность канала, средний объем передаваемой видеoinформации, диапазон камер наблюдения и временной интервал их опроса.

Впервые разработана математическая модель загрузки канала передачи данных CAN сети, которая позволяет определять такие параметры системы контроля, при которых обеспечивается приемлемый коэффициент использования канала.

Полученные данные планируется использовать при разработке полной модели системы видеоконтроля с учетом подсистемы отображения информации.

Список литературы

1. Транспорт на горных предприятиях / [Кузнецов Б.А., Ренгевич А.А., Шорин В.Г. и др.]; под ред. Б.А. Кузнецова. – [2-е изд.] – М.: Недра, 1976. – 552 с.
2. Ткачев В.В. Разработка системы передачи информации для подземных условий / В. Ткачев, Ю. Аврахов, Д. Поперечный // Сборник научных трудов НГУ №19, том 2. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – С.20-27.
3. Столлингс В. Компьютерные сети, протоколы и технологии Интернета. – Спб.: БХВ-Петербург, 2005. – 832 с.
4. Резниченко С.С. Экономико-математические методы и моделирование в планировании и управлении горным производством / С.С. Резниченко, М.П. Подольский, А.А. Ашихмин. – М.: Недра, 1991. – 429 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачевим В.В.
Надійшла до редакції 06.05.09*

УДК 621.3.078

© Р.А. Мазур

АЛГОРИТМ МОДАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ В МИКРОПРОЦЕССОРНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Разработан алгоритм модальной идентификации параметров объекта регулирования, реализуемый средствами стандартных микроконтроллеров нижнего ценового диапазона. Это позволяет ускорить пусконаладочные работы за счет автоматизации наладки параметров регулятора внутреннего контура управления.

Розроблено алгоритм модальної ідентифікації параметрів об'єкту регулювання, що реалізується засобами стандартних мікроконтролерів нижнього цінового діапазону. Це дозволяє

прискорити пусконаладжувальні роботи за рахунок автоматизації наладки параметрів регулятора внутрішнього кола керування.

The simple modal identification algorithm of controlled object parameters is developed. This algorithm is realized on facilities of standard low-price MCU. It allows to accelerate starting-up and adjustment works due to automatic tuning of compensator parameters of internal control loop.

Вступление. В регулируемом электроприводе преимущественное распространение получили системы с подчиненным регулированием параметров. Практически для всех реальных ситуаций первый внутренний контур таких систем можно привести к простейшему контуру второго или третьего порядка, настройка которого осуществляется выбором параметров регулятора таким образом, чтобы получить желаемое расположение нулей и полюсов передаточной функции замкнутого контура. Достоинством систем с подчиненным регулированием является удобство ограничения промежуточных координат и простота расчета параметров регулятора [1]. Такие системы достаточно изучены, легко реализуются средствами стандартных недорогих микроконтроллеров [2], однако в них необходимо устанавливать параметры регулятора, соответствующие динамическим свойствам объекта регулирования. Если регулятор не обеспечивает оптимальный переходный процесс, то необходимо уточнять параметры объекта, что не всегда просто выполнить на практике [3].

Известно множество методов идентификации параметров объекта регулирования [4]. Очевидно, что в микропроцессорных системах наибольшую перспективу имеют рекуррентные методы. Однако предлагаемые методики идентификации сложно реализуются средствами микроконтроллеров среднего и нижнего уровня, поскольку достаточно ресурсоемки, требуют большого количества промежуточных вычислений, иногда формирования специального управляющего воздействия [3]. Кроме того, как справедливо отмечается в [4] «решая задачи идентификации очень важно согласовывать усилия, затрачиваемые на построение модели системы, с ее предполагаемым применением».

Постановка задачи. Целью работы является разработка алгоритма автоматической идентификации параметров внутреннего контура электропривода, ресурсоемкость реализации которого соизмерима с реализацией всей системы автоматического регулирования программно-аппаратными средствами выпускающихся серийно микроконтроллеров нижнего ценового диапазона.

Изложение. В [2] рассматривается реализованная на 8-битном микроконтроллере PIC18F452 (Microchip Technology Inc., США) система с модальным регулятором объекта второго порядка (контуры токов якоря и возбуждения в электроприводе постоянного тока, контур регулирования моменто- и потокообразующих составляющих тока статора в асинхронном векторном электроприводе, контур возбуждения ротора синхронной электромашин). Структурная схема такой системы представлена на рис.1. На схеме K_0 и T_0 – коэффициент усиления и постоянная времени объекта, K_C и T_C – коэффициент усиления и постоянная времени импульсного преобразовательного устройства, аппроксимированного апериодическим звеном, K_n – коэффициент нормализатора, K_{Ra} и K_{Rs} – коэффициенты цепей обратной связи и задания регулятора состояния, u и y – коды задающего и фактического значений управляемой величины, u_s и u_a – код

и фактическое значение управляющего воздействия, f – возмущающее воздействие (влияние ЭДС в электроприводе постоянного тока, ЭДС и перекрестной обратной связи в электроприводе переменного тока), y_n – нормализованное значение управляемой величины.

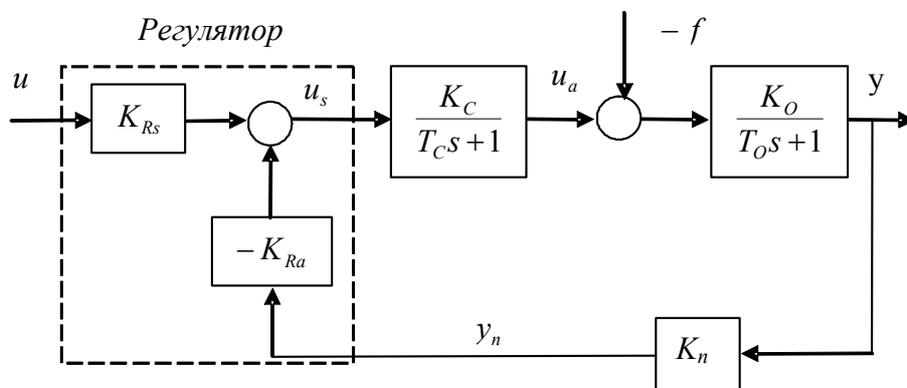


Рис.1. Структурная схема контура с регулятором состояния

Структурной схеме (рис.1.) соответствуют уравнения в пространстве состояний

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_O} & \frac{K_O}{T_O} \\ -\frac{K_{Ra}K_nK_C}{T_C} & -\frac{1}{T_C} \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{K_O}{T_O} \\ \frac{K_{Rs}K_C}{T_C} & 0 \end{bmatrix} U,$$

где $X = \begin{bmatrix} y \\ u_a \end{bmatrix}$, $U = \begin{bmatrix} u \\ f \end{bmatrix}$.

Характеристический полином такой системы имеет вид

$$D(s) = s^2 + \frac{T_O + T_C}{T_O T_C} s + \frac{K_{Ra}K_nK_CK_O + 1}{T_O T_C}, \quad (1)$$

передаточная функция по управлению

$$W_u^y(s) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s + \frac{1}{T_O} & \frac{K_O}{T_O} \\ 0 & s + \frac{1}{T_C} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_{Rs}K_C}{T_C} \end{bmatrix} = \frac{K_{Rs}K_CK_O}{T_C T_O s^2 + (T_C + T_O)s + K_{Ra}K_nK_CK_O + 1}. \quad (2)$$

Из (1, 2) следует, что, варьируя значением коэффициента K_{Ra} можно изменить расположение на комплексной плоскости корней характеристического полинома, тем самым, влияя на динамические свойства контура. Так, при значении коэффициента $K_{Ra} = 0$, корни $\lambda_{1,2} = \left[-\frac{1}{T_O}; -\frac{1}{T_C} \right]$ находятся на действительной оси, быстродействие контура полностью определяется свойствами объекта регулирования, статическая характеристика имеет вид $y = K_{Rs}K_CK_O u$. То есть, за-

давая значение управляемой величины в рабочей точке $u = K_n y_p$, и добившись последовательным увеличением коэффициента K_{Rs} выполнения равенства задающего воздействия нормализованной управляемой величине $u = K_n y_p = y_n$, можно рассчитать линеаризованное значение коэффициента усиления объекта

$$K_O = \frac{1}{K_n K_C K_{RS_0}}, \quad (3)$$

где K_{RS_0} - значение коэффициента регулятора, обеспечивающее в статическом режиме значение управляемой величины y_p при задающем воздействии $u = K_n y_p$.

Отметим, что, как следует из (2, 3), зависимое изменение коэффициентов K_{Rs} и K_{Ra} по формуле $K_{Rs} = K_{RS_0} + K_{Ra}$ обеспечивает стабилизацию в статическом режиме значения управляемой величины в рабочей точке.

С увеличением значения коэффициента K_{Ra} корни характеристического полинома изменяют свое положение на действительной оси, увеличивая быстродействие системы. При значении коэффициента $K_{Ra0} = \frac{(T_O - T_C)^2}{4K_C K_O K_n T_O T_C}$, корни

$\lambda_1 = \lambda_2 = -\frac{T_C + T_O}{2T_C T_O}$ обеспечивают максимальное быстродействие без перерегули-

рования при апериодической переходной характеристике, постоянная времени объекта управления вычисляется по формуле

$$T_O = \frac{K_{Rs} + K_{Ra} + 2\sqrt{K_{Rs} K_{Ra}}}{K_{RS_0}} T_C. \quad (4)$$

Дальнейшее увеличение значения коэффициента K_{Ra} приводит к появлению мнимых составляющих корней характеристического полинома, что сказывается на наблюдаемом перерегулировании управляемой величины.

Вышеприведенные рассуждения позволяют достаточно просто автоматизировать процесс настройки регулятора внутреннего контура:

- 1) по предполагаемой длительности переходного процесса t_K и известному периоду квантования дискретной системы T_S задаемся количеством квантований $i_K = t_K / T_S$, гарантированно превышающем длительность переходного процесса;
- 2) при значениях коэффициентов $K_{Ra} = 0$ и $K_{Rs} = 0$ формируем задающее воздействие $u = K_n y_p$, соответствующее значению управляемой величины в предполагаемой рабочей точке;
- 3) увеличиваем значение коэффициента $K_{Rs} = K_{Rs} + 1$;
- 4) ожидаем i_K квантов, измеряем нормализованное значение управляемой величины y_n ;
- 5) пока $y_n \neq K_n y_p$, повторяем пп. 3, 4;

- 6) запоминаем значение $K_{Rs_0} = K_{Rs}$;
- 7) вычисляем по (3) значение коэффициента усиления объекта K_O ;
- 8) увеличиваем значение коэффициентов $K_{Rs} = K_{Rs} + 1$ и $K_{Ra} = K_{Ra} + 1$;
- 9) на каждом i -м кванте интервала i_K измеряем нормализованное значение управляемой величины y_{ni} ;
- 10) пока $y_{ni} \leq K_n y_P$, повторяем пп. 8, 9;
- 11) рассчитываем по (4) значение постоянной времени объекта T_O ;
- 12) по найденным параметрам объекта и стандартным формулам рассчитываем коэффициенты регулятора.

Проиллюстрируем приведенный алгоритм на примере наладки тиристорного однофазного полууправляемого электропривода постоянного тока с двигателем 4ПБМ132 мощностью 3.15 кВт, реализованного на микропроцессорном управляющем устройстве [5].

Определяем известные и необходимые для идентификации параметры. Поскольку в цепи обратной связи по току установлен шунт с коэффициентом передачи 75 мВ / 75А, коэффициент усиления датчика тока 50, АЦП токового канала настроен на 8-битный режим с опорным напряжением 5 В, результирующий коэффициент передачи токового канала

$$K_n = \frac{75 \cdot 10^{-3} B}{75 A} \cdot 50 \cdot \frac{255 \text{ бит}}{5 B} = 2,55 \frac{\text{бит}}{A}$$

Предполагаемая длительность переходного процесса $i_K = \frac{t_K}{T_S} = \frac{(4 \dots 5) T_{O \max}}{T_S} = \frac{5 \cdot 0,1 c}{0,005 c} = 100$ квантов, где $T_{O \max} = 0,1 \frac{c}{\text{рад}}$ - макси-

мальное прогнозируемое значение постоянной времени объекта; $T_S = 0,005 c$ - время преобразования микропроцессорной системы (частота дискретизации 200 Гц). Задание, соответствующее рабочей точке управляемой величины

$$y_n = K_n y^* = 2,55 \frac{\text{бит}}{A} 16,5 A = 42 \text{ бит}, \text{ где } y^* = I_H = 16,5 A - \text{номинальный ток двигателя.}$$

По предлагаемому алгоритму модальной идентификации в автоматическом режиме, на невозбужденной машине, определяем коэффициенты $K_{Rs_0} = 155$, $K_{Rs} = 190$, $K_{Ra} = 35$. Этим коэффициентам соответствует угол управления $\alpha = 155^\circ \text{ эл.}$ Длительность процесса идентификации параметров объекта, при инкременте коэффициентов на 5 единиц, составила примерно 100 с.

На основании найденных значений коэффициентов по (3) определяем коэффициент усиления объекта, включая линеаризованный коэффициент усиления силового преобразователя, $K_{OC} = \frac{1}{K_n K_{Rs_0} K_{СИФУ}} = \frac{256}{2,55 \cdot 155} = 0,65 [A / ^\circ \text{ эл.}]$, где

$$K_{СИФУ} = \frac{1}{256} - \text{коэффициент нормализации СИФУ [5].}$$

Вычисляем по (4) искомое значение постоянной времени объекта

$$T_O = \frac{K_{Rs} + K_{Ra} + 2\sqrt{K_{Rs} K_{Ra}}}{K_{Rs_0}} T_C = \frac{190 + 35 + 2\sqrt{190 \cdot 35}}{155} 0,01 = 0,025 [c / \text{рад}].$$

Параметры настройки стандартного ПИ-регулятора при условии настройки контура на технический оптимум

$$W_R(s) = \frac{T_o}{2T_c K_n K_{oc}} + \frac{1/(2T_c K_n K_{oc})}{s} =$$

$$= \frac{0.025}{2 \cdot 0.01 \cdot 2.55 \cdot 0.65} + \frac{1/(2 \cdot 0.01 \cdot 2.55 \cdot 0.65)}{s} = 0.75 + \frac{30.16}{s}. \quad (5)$$

Осциллограммы пуска электропривода намоточного устройства на 30% от номинальной скорости (46 рад/с) с регулятором тока, рассчитанным по [5] и ограничением тока якоря на уровне $2I_H$ (33 А) приведены на рис.2.

Анализ графиков (рис.2) показывает соответствие переходного процесса настраиваемой системы заданным показателям качества.

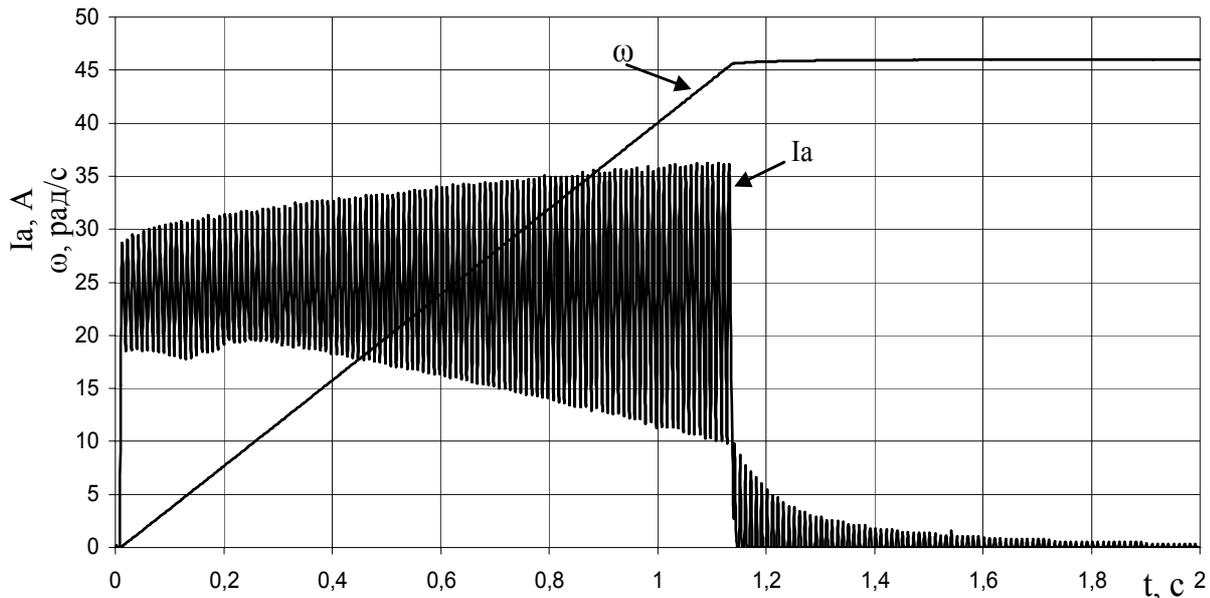


Рис.2. Осциллограммы пуска электропривода с ПИ-регулятором тока по (5)

Выводы. Использование алгоритма модальной идентификации в микропроцессорном электроприводе позволяет уменьшить длительность пусконаладочных работ за счет автоматизации процесса настройки параметров регулятора внутреннего контура. Предлагаемый алгоритм не требует большого объема вычислений и реализуется средствами выпускающихся серийно микроконтроллеров нижнего ценового диапазона.

Список литературы

1. Башарин А.В. Управление электроприводами [Текст]: учеб. пособие для вузов / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
2. Мазур Р.А. Опыт применения модального регулятора в микропроцессорном электроприводе [Текст] / Р.А. Мазур, В.Л. Соседка // Зб. наук. пр. НГУ №31 – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2008. – С.162–168.
3. Гостев В.И. Системы управления с цифровыми регуляторами [Текст]: Справочник / В.И. Гостев. – К.: Техника, 1990. – 280 с.
4. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя [Текст]: пер. с англ. / под ред. Я.З. Цыпкина / Л. Льюнг. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 432 с.
5. Мазур Р.А. Реализация микропроцессорной системы подчиненного регулирования на базе микроконтроллера PIC18F452 [Текст] / Р.А. Мазур, В.Л. Соседка // Зб. наук. пр. НГУ №27 – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2007. – С.157–160.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.
Надійшла до редакції 20.04.09*

FLEXIBLE WORD DIVISION INTO CHARACTERS

Предложен метод, снижающий количество ошибок распознавания букв в рукописных текстах. Качество распознавания повышено за счет использования гибких границ разделения, повторяющих контур букв, в которых присутствуют выступающие вверх или вниз элементы.

Запропоновано метод, що підвищує якість розпізнавання букв у рукописних текстах. Якість розпізнавання підвищена за рахунок використання гнучких границь поділу, що повторюють контур букв, у яких присутні елементи, що виступають вгору або вниз.

This paper is focused on a method to avoid the wrong hand-written words segmentation into characters. The errors reduction is obtained by using flexible division borders able to follow the letters contour where it is necessary to sidestep cutting character ascending or descending parts.

The reported results obtained with the hand-written words segmentation into characters are far from being perfect. Despite great financial and research efforts false frontiers errors couldn't be completely eliminated. These faults lead to situations when a single character is wrongly divided and consequently interpreted as two different symbols (letters or numbers). Two neighboring characters can also be left undivided and interpreted as a single one.

A word separation into characters algorithm is described in [5]. It is based on the superior and inferior word contour analysis and detects the discontinuities between neighboring letters inside words. This method is very efficient in the case of printed documents where this kind of discontinuities take place both in the upper and lower contour. When a hand-written document is analyzed the breaks in the superior and inferior word contour do not coincide thus a supplemental stage of evaluation has to be inserted in the procedure in order to establish the best word division. Usually this is done by linking in a loop the division with the following steps (character recognition, dictionary and grammar validation) thus more than one segmentation alternative can be considered till the word is recognized and it fits inside its sentence.

A more recent technique proposes the direct recognition of the word as a single entity thus avoiding the delicate stage of word division into characters [1,4]. This is can be utilized as an independent procedure or as a preliminary recognition attempt before the character by character "reading" of a difficult to understand word. The first alternative is usually employed in poor vocabulary applications where a little number of possible words is implied. The second version which is in fact close to the human style of reading tend to become more a standard strategy in handwritten recognition. Consequently if the whole word recognition fails, it is still necessary to segment it and then perform a recognition procedure on each individual-character.

An optimal methodology in this case is to divide the words with borders having a slant equal to the medium handwriting slant angle (MHA). This angle is determined using a simplified Hough transform as it is shown in [2,3]. This performs quite well when the handwriting is regular, but, as the MHA is calculated over the whole document, still some errors could arrive. It is the case with texts written in variable slant mode (quick notes) or with phrases ends where many experiment's subjects tend to change their characteristic slant. In such situations wrong segmentation can occur especially in the ascendant or descendant part of the characters as it is shown in Fig. 1.



Fig. 1. Wrong segmentation cutting the descendant extension of 'p'

Such a bad segmentation called “neighbor’s interaction error” can lead to serious troubles in the coming character recognition procedure and may finally vitiate the whole text automatic reading result. Usually the recognition of the sectioned letter is not affected, as the word division methodology does not permit the occurrence of really critical situations.

It is one of its neighbor’s recognition, which can become completely false as the result of including the little amputated part in the analyzed zone. This risk grows bigger when the language of the text is rich in diacritic signs (i.e. French, Romanian, Czech, etc.).

In order to avoid this kind of problems the authors propose an algorithm able to test the occurrence of wrong cutting and avoid it. The solution consists in adding a test bloc which when necessary call a special contour following routine as shown in Fig. 2.

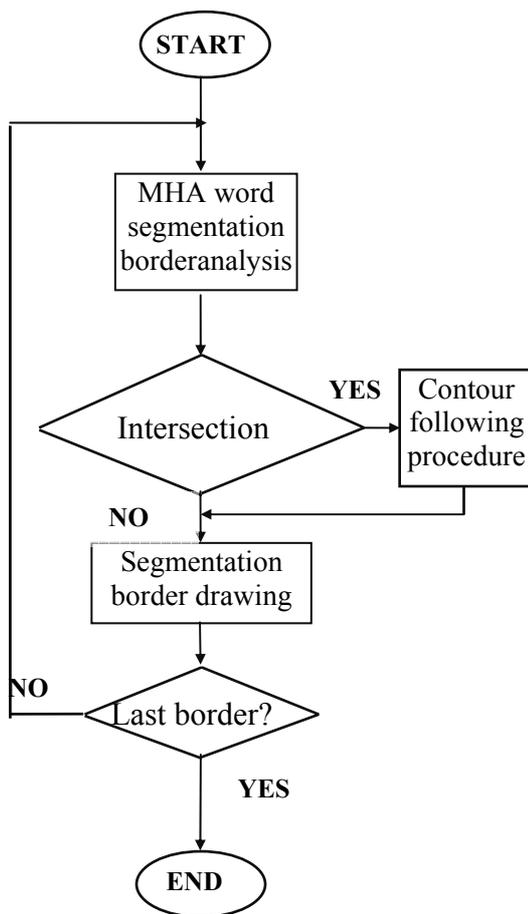


Fig. 2. Proposed word segmentation borders algorithm flow chart

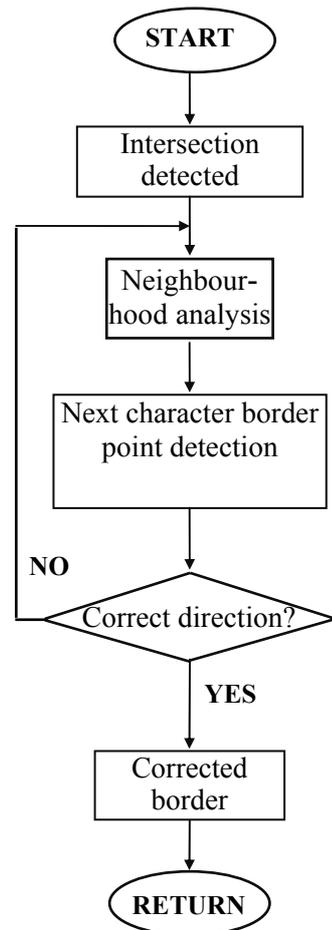


Fig. 3. Word segmentation borders correction routine flow chart

Word Flexible Separation

The procedure is in fact an adapted version of the “hand on the wall” contour following method recognized to be a simple and efficient technique. Its implementation is done according to the classic form recommended in the bibliography [6] but three specific application characteristics are taken into consideration:

- The procedure is started when an border-character intersection occur;
- The contour is designed only upwards in the ascendant zone and downwards in the descendent zone;
- The procedure is ended when MHA direction is again available (no more intersection).

The division borders correction routine flow chart is given in Fig. 3.

Fig. 4 contains a practical exemplification of the proposed procedure effects. The erroneous frontier is drawn with straight line while the corrected border is drawn as all the other borders where no problems occurred with dotted line.



Fig. 4. Word segmentation border corrected with the flexible procedure

The division error from Fig. 1 was removed. The following procedure starts in the frontier-character intersection point and a flexible segmentation take place in order to avoid the ‘p’ descending extension to be cut.

Experimental Results

All programs involved in this segmentation procedure were written in C++. The class family most important items are:

- Class Word,
- Class Character derived from Word (each character is considered a sub-word).

The routines drawing the straight or flexible segmentation borders are Word class member functions. This structure gives the possibility of future divisions in case of sub-words containing more than one character.



Fig. 5. Variable handwritten slant angle word separation into characters
a) Straight border segmentation (slant equal to MHA) b) Flexible border segmentation.

In Fig. 5.a word "flaps" segmentation is wrong because it's slant is slightly different from the whole document MHA, thus the straight borders produce unwanted cuttings in the ascendant and descendent portions of its characters. The flexible technique follows letters contour in the dangerous zones. Consequently the segmentation result shown in Fig. 5.b has no extensions amputation. Speed of the whole segmentation process is not seriously affected (3...7%) because the less quick follow procedure is employed only when necessary the rest of the division is done with the fast straight frontier method.

The proposed method was tested on a set of ten text samples written by ten different subjects. Its results were compared with:

- The straight border segmentation method (MHA not considered);
- The Straight border segmentation (slant equal to MHA).

Error statistics on the test sample set for this three procedures is given in Fig. 6.

A supplemental reduction of the segmentation errors can be obtained only by taken into consideration a great number of division alternatives and do the whole processing for each of them. Later in the dictionary and grammar validation stages the evaluation of all this possibilities could be able to determine the best solution.

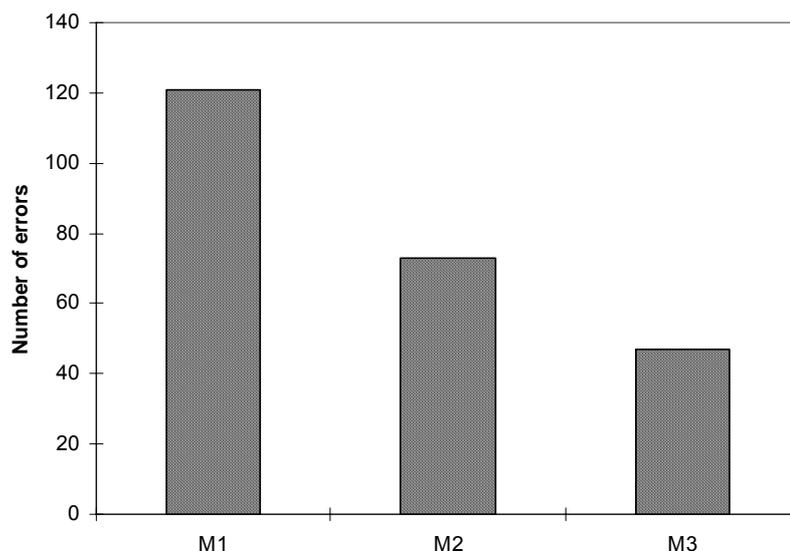


Fig. 6. Error statistics on the test sample set. M1: Straight border segmentation (MHA not considered). M2: Straight border segmentation (slant equal to MHA). M3: Flexible border segmentation

As stressed before when the procedure was described the correction routine isn't active until an intersection between the frontier and the character body (ascendant or descendant parts) takes place. Thus no intersection occurred in the central zone is considered because there the crossing over the linkage between characters is normal. Therefore a link line drawn in a high or low position will be seen as an error but will not affect essentially the rest of the process as the contour following has a distance limit which can not be exided. When hand-printed or printed documents are processed this regulations have to be changed. Any intersection even in the central zone must be taken care of.

The experiments with printed writing were done using a similar set of ten samples. The selected printed documents were rich in italic and bold characters in order to induce a great number of troubles when segmented through classic procedures. Experimental result had shown a very good rate of success. The proposed method reduced the number of the segmentation errors to 6.6% of the errors obtained through straight-line borders technique. The single wrong segmentation accidents were due to problems in the document (paper non-uniformity, acquisition noise, printing artefacts, etc.). A better document image pre-processing could further reduce the amount of these.

The case of hand-printed was studied over another set of ten samples produced by ten different subjects. A 79.7% reduction of segmentation errors was obtained. The bigger amount of errors is due to the fact that in hand-printed there are some accidental linkages between neighboring characters inside words. This usually is not a problem for the humans but can produce real great troubles to the computers. Authors' further researches are oriented toward resolving of these problems.

References

1. Govindaraju V., Krishnamurty R., Holistic Handwritten Word Recognition Using Temporal Features Derived From Off-line Images, *Pattern Recognition Letters*, Vol.17, No.5, 1996, pp.523-527.
2. Jianming H., Donggang Y. and Hong Y., Construction of partitioning paths for touching handwritten characters, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 20 No 3, 1999, pp. 293-303
3. Pal U., Chaudhuri B.B., An improved document skew angle estimation technique, *Pattern Recognition Letters, North Holland* Vol 17, No 8 (1996) pp. 899-904
4. Parizeau M., Plamondon R., A Fuzzy-Syntactic Approach To Allograph Modeling For Cursive Script Recognition *IEEE Trans. on PAMI*, Vol.17, No.7, 1995.
5. Shapiro V., Gluchev G. and Sgurev V., Handwritten Document Image Segmentation and Analysis, *Pattern Recognition Letters*, Vol.14, No.1, 1993, pp.71-78.
6. Sonka M., Hlavac V. and Boyle R., *Image Processing, Analysis And Machine Vision*, Chapman & Hall, Glasgow, 1993.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.
Надійшла до редакції 14.05.09*

УДК 629.3.027.2:004.942

© G. Gruhler, A.V. Bublikov

OPERATING PRINCIPLE AND KINEMATICAL STRUCTURE OF A NOVEL DRIVE SYSTEM FOR MOBILE ROBOTS

Drive systems of mobile robots or mobile robot platforms are using different kinematical principles. To change the direction of a robot movement, often some type of steering mechanism is used. This article describes a new drive concept for mobile robots which enables the robot to move from an actual position immediately in any direction without any steering wheel or steering mechanism.

У приводних системах або платформах мобільних роботів використовуються різні кінематичні принципи побудови. Для зміни напрямку переміщення робота часто використовуються певні типи поворотних механізмів. У цій статті описується нова концепція побудови

привода мобільного робота, яка дозволяє роботу переміщуватись із поточної позиції безпосередньо в будь-якому напрямку без застосування будь-якого кермового колеса або поворотного механізму.

В приводних системах или платформах мобильных роботов используются разные кинематические принципы построения. Для изменения направления перемещения робота часто применяются определенные типы поворотных механизмов. В этой статье описывается новая концепция построения привода мобильного робота, которая позволяет роботу перемещаться из текущей позиции непосредственно в любом направлении без применения какого-либо рулевого колеса или поворотного механизма.

1. Introduction. Immediate movement of mobile robots, or vehicles in general, from an actual position to any given direction without any steering wheel or steering mechanism or steering movement would provide tremendously increased agility to the mobile system. Consequently, new applications, more convenience, increased performance and faster movements might be achieved. At the robotics laboratory of Reutlingen University, Germany, we are performing research and development on such a new electrical drive system. Here we describe the kinematical concept, steps towards the mathematical description, and the feed-back control structure.

2. Common drive systems for mobile robots and state of development.

Mobile robots or other mobile platforms have - related to the surface on which they are moving - three degrees of freedom. With respect to a cartesian space coordinate system, they are able to move in the x- and y-direction as well as to change their orientation around the z-coordinate (see fig. 1). For the x-y-movements often power wheels together with some type of steering mechanism or steering movement are used [1]. Therefore this type of system is not able to perform an immediate movement from an actual position towards any possible vectorial direction in the x-y-plane.

One concept to tackle the problem is, to use so-called omni-wheels [2] as robot drives. These wheels allow omni-directional movements to a certain extent by specific mechanical elements of the wheel.

As fig. 2 shows, there are additional roller wheels at periphery of a powered omni-wheel. The rollers not only transfer the forward movement to the surface but also allow more or less (un-powered) sideward movements. There are mobile platform concepts with four omni-wheels (at an interval of 90 °) or three omni-wheels (at an interval of 120 °). There are certain drawbacks of mobile robots with omni-wheels. The wheel itself is a rather complex system. Since the actual resulting

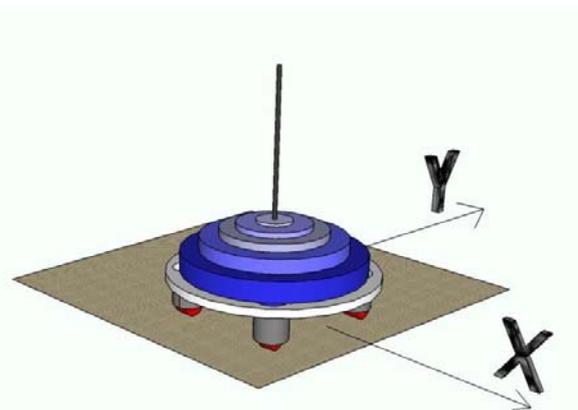


Fig.1. Mobile robot and coordinate system

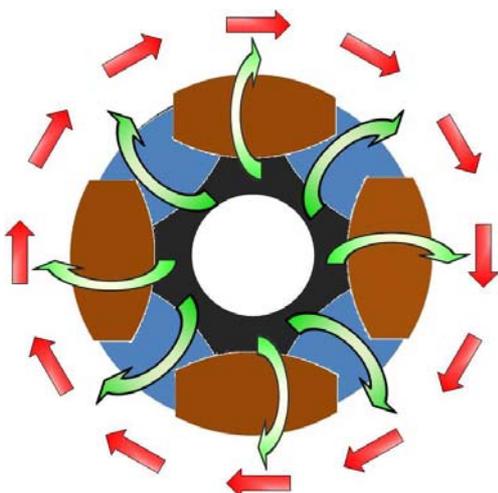


Fig. 2. Structure of an "omni-wheel"

movement of the vehicle is usually neither exactly in-line nor rectangular to the wheel's axis, there is unwanted friction and there might be movement vector directions where the movement is not possible at all (depending on the number and arrangement of the wheels).

At the Reutlingen University Robot Laboratory we developed in a specific research project a balancer system which is able to balance an upper ball on top of a second (lower) ball. Fig. 3 shows the architecture of the balancer system. Since the upper ball may move or fall in any direction, the movement of the lower ball must be controllable also in any direction.

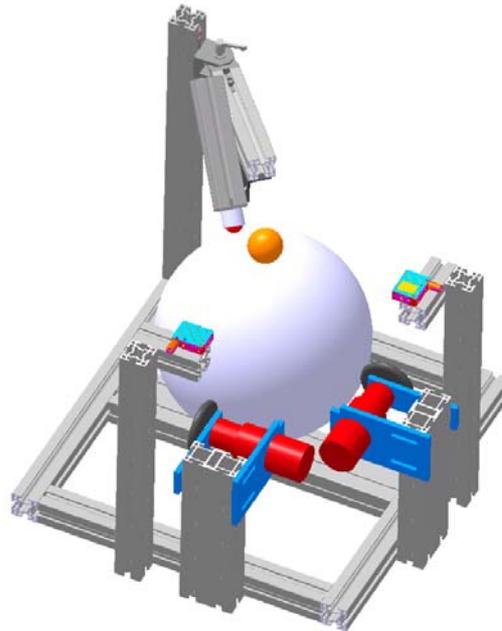


Fig.3. Ball-on-ball balancer with 2 peripheral drives

To achieve this, 2 friction drives each with an electrical servo-motor are used. The friction wheels operate at the equator of the lower ball at an angle of 90° . The operating principle is that of an inverted mechanical computer mouse. The wheel sensors of the mouse are replaced by active drives. The rotational movements of the friction wheels are conveyed onto the lower ball. By transposition of the 2 derived rotations, the movement vector at the top point of the lower ball (contact point of the upper ball) can be oriented in any given direction. The idea for the novel mobile robot drive system is now derived from the ball-on-ball balancer: the system is made mobile by omitting the upper ball and by providing the lower ball with contact to the floor. Consequently, a number of other components have to be changed or added to the system as detailed in the following section.

3. Architecture and kinematical structure of the new mobile platform. The novel mobile platform drive system is now implemented by conveying the rotation of the lower ball - which was described in the previous section - to the floor by friction and, as a result, generating a respective translation movement. Fig. 4 shows the generation of the resulting movement vector from bottom view and from side view.

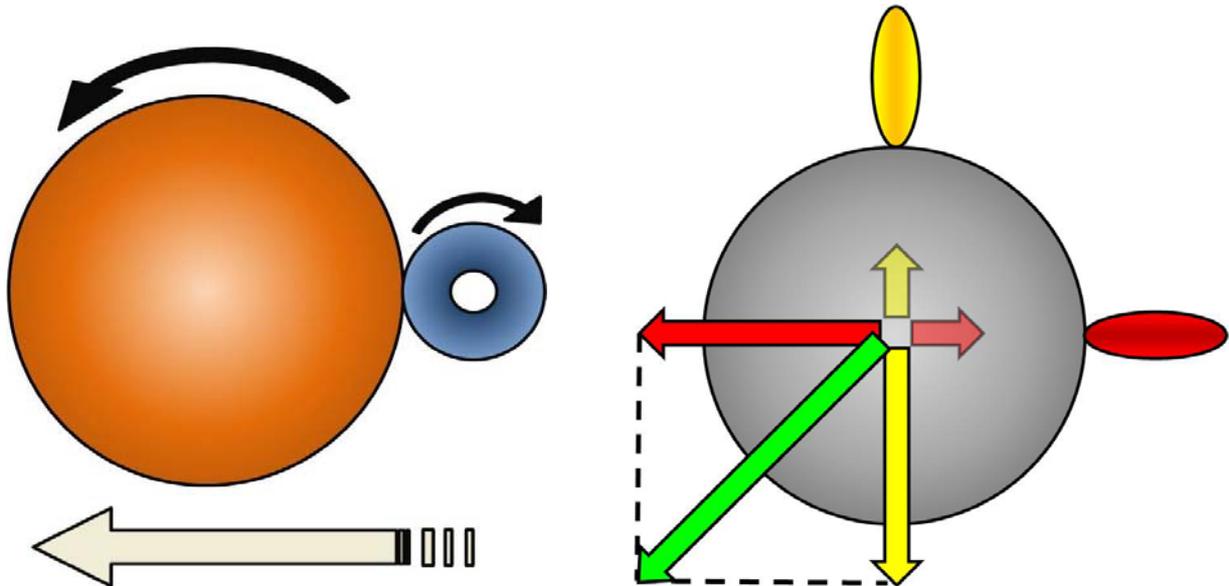


Fig.4. Mobile robot drive concept: Side view, one degree of freedom (left). Resulting translation vector, 2 degrees of freedom, bottom view (right)

The power wheels are mounted on a flat platform which surrounds the central ball. To prevent the system from tilting, 3 passive rollers with roller bearings are mounted to the floor-side of the platform. One of the rollers is equipped with an additional spring lead to compensate for unevenness of the floor. The platform is also the carrier for the additional system components as servo motors, gearboxes, electronic controller, servo amplifiers, and power supply consisting of rechargeable batteries. An additional spring bearing provides additional force on the central ball in direction to the floor and caters therefore for the necessary friction.



Fig.5. Foto of the implemented mobile robot platform with novel omni-directional drive concept

An electronic controller system is contained for the following purposes: Movement generation, signal generation for the 2 servo-drives, digital and analogue interfacing, interfacing to a personal computer, interfacing to a joystick, future interfacing to position measuring and/or navigation systems, implementation of closed-loop position control algorithms. The controller is of the type CEDIO-P 16/16-0,5-1131 from the German company Berghof and runs a Real-time Linux operating system. User programming is provided via IEC 61131 programming languages (e.g. ST - structured text) as well as via the programming language C.

4. Mathematical description of the kinematical behavior. Generally, the movement of a driven ball on a flat surface is rather complicated and is being determined by the directions and scalar values of the vectors of the superposed forces, working on the ball in a current moment. The character of movement of a ball can be the following:

1. Movement of the ball permanently happens perpendicularly around the same axis of symmetry, at the same time the symmetry axis performs a parallel-translational motion in space, and the center of gravity is situated in one plane; the vectors of angular velocity and the speed of movement in the contact point have opposite directions (acceleration of the ball or its movement with a stationary value of velocity in one direction).

2. Character of movement is analogue to the first type of movement, however, there is a slippage of the ball on the flat surface.

3. Character of movement is analogue to the first type of movement, however, the vector of angular velocity and the speed of movement in the contact point have the same direction (decceleration of the ball).

4. The ball rolls on a flat surface and rotates around an axis which permanently is situated in the same plane but changes its position in this plane (rotational displacement of a ball) and so on.

This article presents the mathematical description of the kinematical behavior of the ball-based mobile robot for the special cases, which are described above as movement types 1 and 2. The ball is considered a rigid body. In this case the movement equations are reduced to Newton equations for flat movement relatively to the centre of mass of the ball and to the torque equation relatively to the symmetry axis.

The following forces have influence on the ball (see the fig.6): Gravity $m_b \cdot g$, rotary force $F_{H,b}$ (as a result of the driving force of a wheel), reaction force F_{el} due to a spring borne ball bearing from the side, and force of flat-back interaction. The flat-back interaction force contains a vertical component (bearing reaction) N , and a horizontal component, which is termed friction force F_{Fr} . The equations of Newton for a flat movement relatively to the centre O_b of the mass of the ball are [4,5]:

$$\begin{cases} x: -m_{rob} \cdot \ddot{x}_b - F_{FR} = 0 \\ y: -m_b \cdot g - F_{el} \cdot \cos(\varphi) + N + F_{H,b} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

with: m_{rob} - mass of the mobile robot; m_b - mass of the ball; g - acceleration of gravity. The torque equation relatively to the axis of symmetry of the ball is:

$$F_{FR} \cdot R - J_b \cdot \ddot{\varphi}_b - F_{H,b} \cdot R = 0, \quad (2)$$

when J_b is the inertia of the ball:

$$J_b = \frac{2}{5} \cdot m_b \cdot R^2$$

Let's note that, in this reduced mathematical description of the kinematical behavior of the mobile robot, "passive" friction forces of rolling at all points of contact are not taken into account, as they are much lower than other forces. Between the "ac-

tive" (driven) wheel and the ball, a friction force is used permanently as a coupling force.

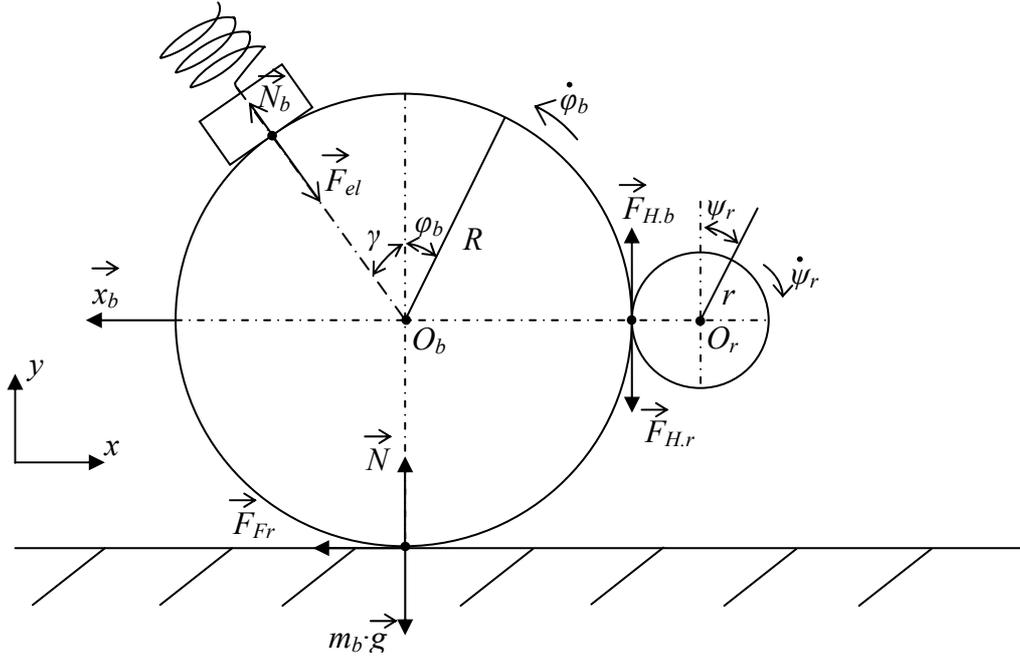


Fig.6. Dynamic scheme of the bound system of bodies "roller-ball-flat surface"

The equations which describe the movement of a body with different types of friction, have one singularity. At presence of a friction force, the state of affairs is complicated by that fact, that, on one hand, the friction force determines the behavior of movement of a body, but on the other hand, friction force depends on the behavior of movement of the body. Thus, the forces, which work on a ball, and the acceleration of a ball determine the character of friction in a given instant, and this character of friction determines the set of equations for the movement of the ball in the following instants.

At lack of a slippage between the ball and the flat surface as well as between the driving wheel and the ball, the linear velocity ($\dot{x}_{rob} = \dot{x}_b$) and acceleration ($\ddot{x}_{rob} = \ddot{x}_b$) of the mobile robot are:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_{rob} = \ddot{x}_b = \ddot{x}_{rol} = r \cdot \ddot{\psi}_{rol}; \quad \dot{x}_b = R \cdot \dot{\phi}_b = r \cdot \dot{\psi}_{rol} \\ \dot{x}_{rob} = \dot{x}_b = \dot{x}_{rol} = r \cdot \dot{\psi}_{rol}; \quad \dot{x}_b = R \cdot \dot{\phi}_b = r \cdot \dot{\psi}_{rol} \end{aligned} \quad (3)$$

Using the equations (2) and (3), the analytical dependence between rotary force and friction force is established:

$$\begin{aligned} F_{FR} \cdot R - F_{H,b} \cdot R = J_b \cdot \ddot{\phi}_b = \frac{J_b}{R} \cdot \ddot{x}_b = \frac{-J_b}{R \cdot m_{rob}} \cdot F_{FR}; \\ F_{FR} = \frac{1}{1 + \frac{J_b}{m_{rob} \cdot R^2}} \cdot F_{H,b} \end{aligned}$$

Thus, at lack of a slippage, the friction force of coupling is proportional to the rotary force in the range from 0 up to a critical value:

$$F_{FR.crit} = \mu \cdot N \quad (4)$$

when μ is the coefficient of sliding friction between ball and flat surface.

Including slippage, the friction force practically does not depend either from angular acceleration of the ball or superposed forces, and rests equal to the critical value. At the same time the linear and angular accelerations of the ball are being described by formulas, which are obtained with the help of equations (1,2,4):

$$\ddot{x}_b = \frac{-F_{FR.crit}}{m_{rob}} = \frac{-\mu \cdot (m_b \cdot g + F_{el} \cdot \cos(\psi)) - F_{H.b}}{m_{rob}};$$

$$\ddot{\varphi}_b = \frac{R}{J_b} \cdot (\mu \cdot (m_b \cdot g + F_{el} \cdot \cos(\psi)) - F_{H.b}) - F_{H.b}.$$

Let's define an analytic dependence between the linear and angular acceleration of the ball, including slippage, using equations (1,2,4):

$$F_{FR} = \frac{\frac{J_b}{R} \cdot \ddot{\varphi}_b + m_b \cdot g + F_{el} \cdot \cos(\gamma)}{1 + \frac{1}{\mu}};$$

$$\ddot{x}_b = \frac{-F_{FR.crit}}{m_{rob}} = -\frac{\frac{J_b}{R} \cdot \ddot{\varphi}_b + m_b \cdot g + F_{el} \cdot \cos(\gamma)}{m_{rob} \cdot (1 + \frac{1}{\mu})} = -\frac{J_b \cdot \mu}{R \cdot m_{rob} \cdot (1 + \mu)} \cdot \ddot{\varphi}_b - \frac{m_b \cdot g + F_{el} \cdot \cos(\gamma)}{m_{rob} \cdot (1 + \frac{1}{\mu})}$$

As researches have shown, the relation between the linear and angular acceleration of the ball, after the beginning of slippage, becomes inverse, and the coefficient of the ratio of accelerations becomes much less than 1 (about 0,005). Thus, after the beginning of slippage, the linear acceleration of the ball nearly stays constant (is decreasing slightly), combined with an increase of the angular acceleration. Therefore it is wrong to judge about the linear transition of a ball on the base of its angular motion. In a current point of time t_{cur} the linear velocity of the ball is defined by:

$$\dot{x}_b(t) = \int_0^{t_{cur}} \ddot{x}_b(t) dt;$$

$$\ddot{x}_b(t) = \begin{cases} \ddot{\varphi}_b(t) \cdot R & \text{if } F_{FR} < F_{FR.crit} \\ -\frac{J_b \cdot \mu}{R \cdot m_{rob} \cdot (1 + \mu)} \cdot \ddot{\varphi}_b(t) - \frac{m_b \cdot g + F_{el} \cdot \cos(\gamma)}{m_{rob} \cdot (1 + \frac{1}{\mu})} & \text{if } F_{FR} = F_{FR.crit} \end{cases}$$

If we omit the (comparably small) inertia of the driving wheel, these equations show that both cases allow the representation of the system "driving wheel - ball - flat surface" by a "dynamic gain" (proportional) unit when we are going to use the simulation system MatLab-Simulink. One of the next steps will be the modelling and simulation of the whole mobile robot, in order to optimise feed-back control strategies for the robot's position.

5. Conclusion. Tests of the implemented mobile robot platform based on the novel omni-directional drive system demonstrate the ability of the robot to perform immediate movements of the system towards any given direction in the x-y-plane of the related coordinate system. The mobile platform shows a high level of achieved agility. Of course, the best performance can be achieved when slippage is avoided. The mathematical description of the system which was explained, will be used as a base for the complete modelling of the robot. Modelling and simulation of the kinematical behaviour with MatLab-Simulink is under way. The simulations are going to be used to improve the system and to set up closed-loop position control strategies, once the system is extended by position measuring and/or navigation components.

References

1. Nehmzow, U.: Mobile Robotik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 2002.
2. Pangratz, Richard: Der omnidirektionale Antrieb. http://users.informatik.haw-hamburg.de/~kvl/ws06-07/no5/html/omnidirektionaler_antrieb.html
3. Gruhler, G.; Eitelbuss, T.; Roess, J.: Antriebskonzept, Regelung und Internet-Anbindung eines Kugel-auf-Kugel-Balancers. In: Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика", Днепродзержинский государственный технический университет, 2007, Pp. 313 - 314.
4. Кирсанов М.Н. Решебник. Теоретическая механика.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.–384 с.
5. Гернет М.М. Курс теоретической механики.– М.: "Высшая школа", 1973.– 464 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.
Надійшла до редакції 24.04.09*

УДК 62-581.6

© Р.А. Машковский, А.Н. Николаенко

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА

В статье разработана система векторного управления асинхронным электроприводом с короткозамкнутым ротором, использующая нечеткий логический регулятор.

У статті розроблена система векторного керування асинхронним електродвигуном з короткозамкнутим ротором, що використовує нечіткий логічний регулятор.

The vector control system of AC drive with short-circuited rotor, which uses fuzzy logic controller, was developed in this article.

Долгое время в управляемых приводах в основном применялись двигатели постоянного тока. Это было связано с простотой реализации закона управления по напряжению якоря. Однако высокого качества регулирования на скоростных агрегатах с большими возмущениями по нагрузке, таких как технологическая линия по производству алюминиевой катанки, применение электропривода постоянного тока не обеспечивает, что приводит к потерям в производстве и снижению качественных показателей готовой продукции. [1]

Недостатками такого привода также являются сложность системы регулирования, наличие щеточных токосъемников, снижающих надежность двигателей, а также высокая стоимость.

В то же время существуют двигатели переменного тока, в частности асинхронный двигатель, которые значительно дешевле двигателей постоянного тока. Это объясняется простотой их конструкции, высокой надежностью, связанной с отсутствием щеток и контактных колец. Долгое время из-за отсутствия высокоэффективных алгоритмов управления этот тип двигателей применялся в основном в системах нерегулируемого электропривода.

В 1971 году Ф. Блашке сформулировал принцип управления, запатентованный фирмой Siemens и названный векторным управлением [2]. Именно системы векторного управления сделали возможной работу привода в широком диапазоне при жестких требованиях к быстродействию. Сегодня в результате фундаментальных теоретических исследований и успехов в области силовой полупроводниковой электроники и микропроцессорных систем разработаны электроприводы, которые серийно выпускаются электротехническими фирмами всего мира [3].

Однако при разработке системы управления электроприводом переменного тока возникают трудности, связанные с несовершенством стандартных алгоритмов настройки контуров регулирования, которые отрицательно сказываются на качестве управления двигателем.

Формулирование целей. В связи с этим необходимо провести анализ классической системы векторного управления асинхронным двигателем, показать преимущества и недостатки стандартных настроек контуров регулирования. На основании полученных результатов разработать алгоритм управления, который позволит обеспечить высокое качество управления. Провести разработку и моделирование системы управления, в которой будет реализован данный алгоритм. По переходным процессам в системе сделать вывод о полученных результатах.

Результаты исследований. При всех известных способах регулирования скорости асинхронного двигателя (регулирование изменением напряжения на статорной обмотке, переключением числа пар полюсов, введением сопротивления или добавочной электродвижущей силы (ЭДС) в роторную цепь двигателя с фазным ротором) только электропривод с регулированием путем изменения частоты напряжения на статоре может составить конкуренцию приводу постоянного тока с двигателем независимого возбуждения в тех устройствах, в которых требуется большой диапазон регулирования скорости и предъявляются

высокие требования к точности ее поддержания и динамическим характеристикам привода.

В настоящее время наиболее распространенный тип электропривода с двигателем переменного тока включает в себя приводной преобразователь на основе преобразователя частоты со звеном постоянного тока и инвертором с широтно-импульсной модуляцией.

Системы векторного управления позволяют достигнуть в приводе с асинхронным двигателем таких динамических свойств, которые ранее считались достижимыми только в приводах с двигателями постоянного тока независимого возбуждения, и даже превзойти их. Эти свойства системы достигаются за счет разделения каналов регулирования потокосцепления и скорости вращения электродвигателя. При построении указанных систем используется векторное представление физических величин.

Функциональная схема, реализующая данный алгоритм управления, показана на рис. 1. Питание двигателя осуществляется от преобразователя частоты (ПЧ). Преобразователи координат (ПК) предназначены для преобразования величин постоянного тока во вращающейся системе координат в трехфазную систему величин в неподвижной системе координат и обратно. Данный перевод необходим для разделения каналов управления. Каждый из каналов регулирования строится по принципу подчиненного регулирования. Необходимые для регулирования неизмеряемые переменные рассчитываются в модели двигателя.

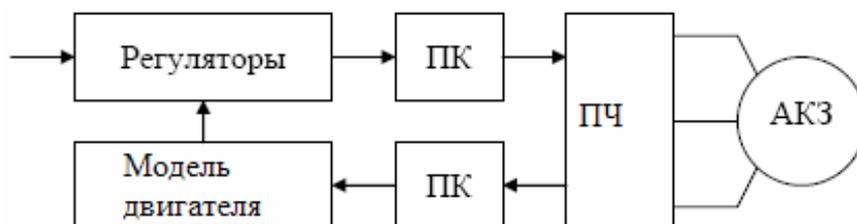


Рис. 1. Функциональная схема асинхронного электропривода с векторным управлением

Данные системы управления применяются в механизмах с повышенными требованиями к качеству регулирования скорости, например, приводы в станках, лифтах, кранах.

Анализ продукции ведущих мировых производителей систем привода и материалов опубликованных научных исследований позволяет отметить снижение доли систем привода с двигателями постоянного тока и увеличение доли систем привода с двигателями переменного тока. [4]

Требования высокой точности регулирования и высокого быстродействия, которые предъявляются к современному электроприводу, обуславливают применение замкнутых систем. Поэтому основным принципом управления является принцип обратной связи, позволяющий осуществить контроль качества регулирования по отклонению управляемого параметра от заданного.

В электроприводе в основном применяются три структуры построения систем автоматического управления:

1. С промежуточным суммирующим элементом;

2. С независимым регулированием параметров;
3. С подчиненным регулированием.

Из всех перечисленных способов построения преимущественное распространение получили системы с подчиненным регулированием. В них на вход каждого регулятора $W_{p1}(s) - W_{pn}(s)$ подается сигнал с предыдущего каскада (рис. 2), соответствующий задаваемому уровню регулируемой величины, и сигнал с выхода данного каскада, отвечающий фактическому уровню. Важным достоинством данной структуры является возможность простыми средствами осуществить ограничение любой из координат системы (скорость, момент, ток). Для этого достаточно ограничить задание данной координаты.

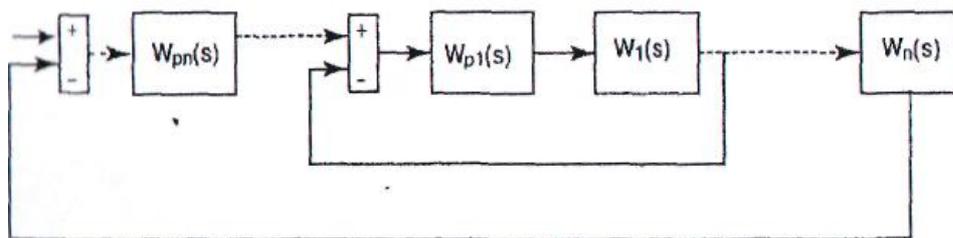


Рис.2. Структура схемы с подчиненным регулированием

В практике электропривода в системах с подчиненными контурами регулирования широко применяются стандартные настройки. Система при этом структурно разбивается на несколько контуров, каждый из которых содержит свой объект регулирования. Среди стандартных типов настройки контуров управления можно выделить настройку на модульный и симметричный оптимум. Оба способа имеют свои преимущества и недостатки. При настройке на оптимум по модулю переходный процесс при изменении задания скорости характеризуется незначительным перерегулированием и быстрым действием, а при скачке возмущающего воздействия по нагрузке система характеризуется статической ошибкой. При настройке на симметричный оптимум переходный процесс при изменении задания является затянутым во времени и имеет значительное перерегулирование, однако при возмущении по нагрузке в переходном процессе отсутствует статическая ошибка. [3]

Однако в ряде промышленных агрегатов необходимы системы управления, которые бы обеспечивали качественное управление, как при изменении скорости, так и момента нагрузки. Решение поставленной задачи классическими методами затруднительно. В связи с этим представляет интерес использование нечеткой логики при построении системы векторного управления асинхронным двигателем. Это дает возможность построения устройства управления двигателем, которое объединит в себе достоинства регулятора настроенного на модульный и симметричный оптимум.

Для разработки нечеткого регулятора выполнены исследования классической системы векторного управления асинхронным двигателем. Переходные процессы, полученные в этой системе, изображены на рис. 3. В момент времени

$t = 0,05c$ изменяется задание скорости от 0 до 50 рад/с, а при $t = 1c$ увеличивается момент нагрузки на $600 \dot{I} \cdot i$.

Из полученных переходных процессов видно, что при настройке на модульный оптимум в системе при изменении задания отсутствует перерегулирование, но при приложении нагрузки наблюдается провал скорости. В системе настроенной на симметричный оптимум переходный процесс по скорости характеризуется значительным перерегулированием, зато при изменении нагрузки на валу двигателя отсутствует статическая ошибка. Таким образом, необходимо разработать регулятор, который позволил бы устранить указанные недостатки.

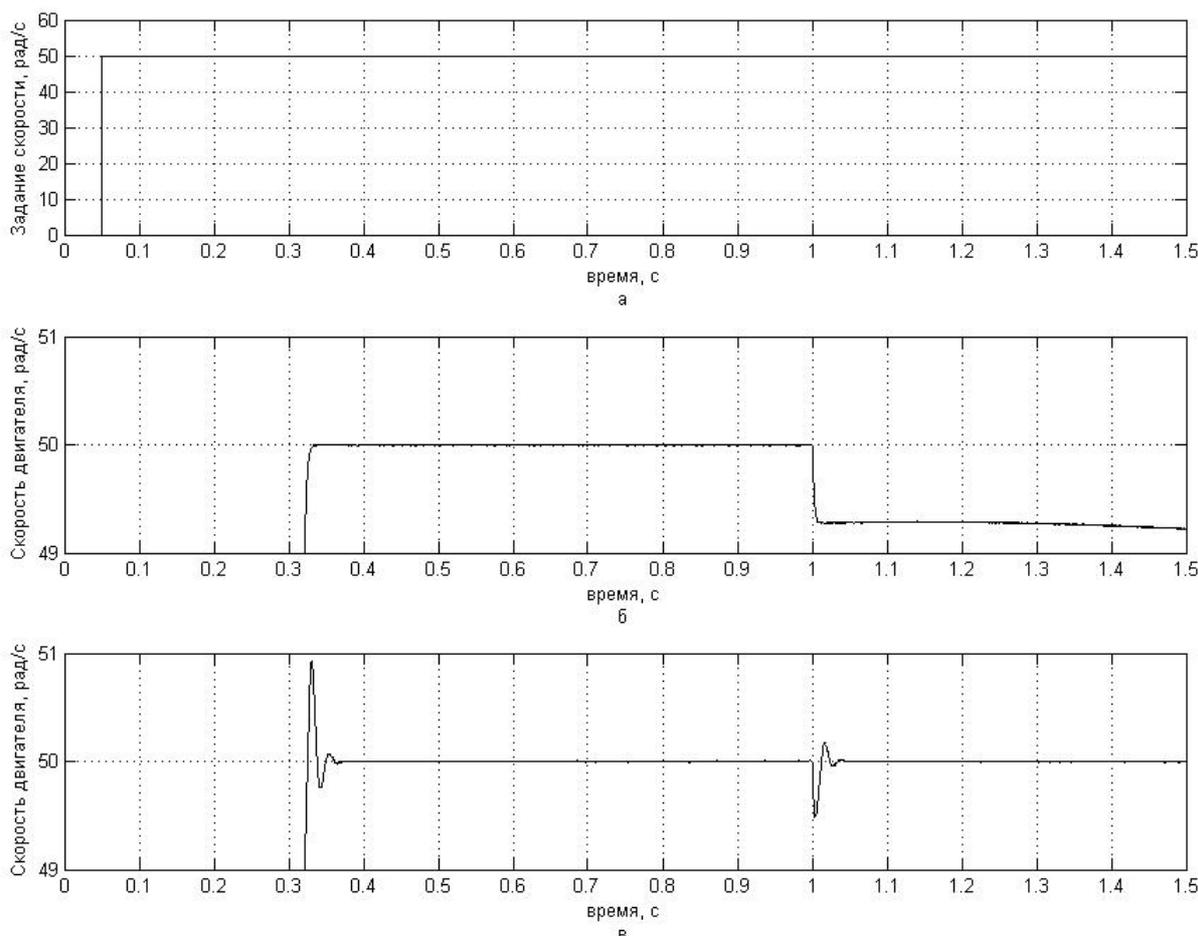


Рис. 3. Переходные процессы по скорости двигателя в системе классического векторного управления при различных типах настройки:
а – задание скорости двигателя; б – переходной процесс по скорости при настройке на модульный оптимум; в - переходной процесс по скорости при настройке на симметричный оптимум

Синтез нечеткого регулятора представляет собой двухэтапную идентификацию нелинейной зависимости желаемого выходного сигнала регулятора скорости от входных переменных [5], которыми в данном случае выбраны сигнал ошибки по скорости двигателя и интеграл этой величины. Для синтеза и настройки был применен ANFIS – алгоритм обучения [6]. На первом этапе выполняется структурная идентификация. Она представляет собой формирование нечеткой базы знаний, которая грубо отражает нелинейную взаимосвязь «входы – выход» с помощью лингвистических правил вида:

ЕСЛИ <посылка правила>, ТО <Заключение правила>.

На втором этапе происходит параметрическая идентификация исследуемой зависимости путем нахождения таких параметров нечеткой базы знаний, которые минимизируют отклонение результатов нечеткого моделирования от экспериментальных данных. Настраиваемыми параметрами являются веса правил и параметры функций принадлежности.

Разработка нечеткого регулятора выполнена с помощью встроенного в пакет Matlab ANFIS-редактора. Этот редактор позволяет автоматически синтезировать и настраивать из экспериментальных данных нейро-нечеткие сети, которые можно рассматривать как одно из представлений систем нечеткого вывода Сугено [7].

Для разработки системы нечеткого вывода сформированы обучающие выборки на основе экспериментальных данных. Для этого каждому значению скорости двигателя на желаемом переходном процессе с шагом $5 \cdot 10^{-5} c$ поставлены в соответствие величина ошибки по скорости и ее интеграл. Для создания исходной системы нечеткого вывода Сугено использован метод решетчатого разбиения, согласно которому функции принадлежности нечетких термов равномерно распределяются внутри диапазона изменения данных.

Поскольку полученная система нечеткого вывода грубо отражает зависимость между входами и выходами, были определены параметры функций принадлежности и коэффициенты в заключениях правил, которые обеспечили минимизацию отклонения результатов нечеткого моделирования от экспериментальных данных. Выполнено это по средствам обучения сгенерированной системы нечеткого вывода. Синтезированная система нечеткого логического вывода изображена на рис. 4.

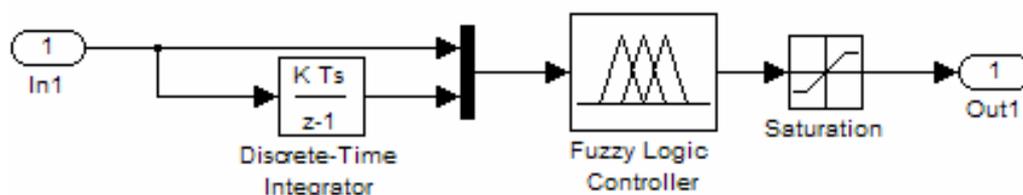


Рис. 4. Подсистема регулирования скорости

На вход подсистемы поступает сигнал рассогласования между заданным и действительным значением скорости. Этот сигнал и его интеграл поступают на вход нечеткого логического регулятора, выход которого ограничивается. Ограничение выходного сигнала регулятора осуществляется на уровне, соответствующем двукратному номинальному моменту двигателя, при превышении которого возможно возникновение аварийных ситуаций.

Для оценки качества регулирования разработана математическая модель системы, реализующая алгоритм векторного управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, рис. 5. В качестве регулятора скорости использован нечеткий логический регулятор. Моделирование осуществлено в подсистеме Simulink пакета Matlab.

Модель состоит из следующих блоков:

- 1 – блок задания потокосцепления ротора;
- 2 – регулятор потокосцепления ротора;

- 3 – регулятор тока по прямой оси;
- 4 – преобразователь координат прямого канала;
- 5 – система управления широтно-импульсной модуляцией;
- 6 – инвертор преобразователя частоты;
- 7 – блок задания скорости двигателя;
- 8 – подсистема регулирования скорости двигателя с нечетким логическим регулятором;
- 9 – регулятор момента двигателя;
- 10 – регулятор тока по квадратурной оси;
- 11 – модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;
- 12 – преобразователь координат обратного канала;
- 13 – модель потока.

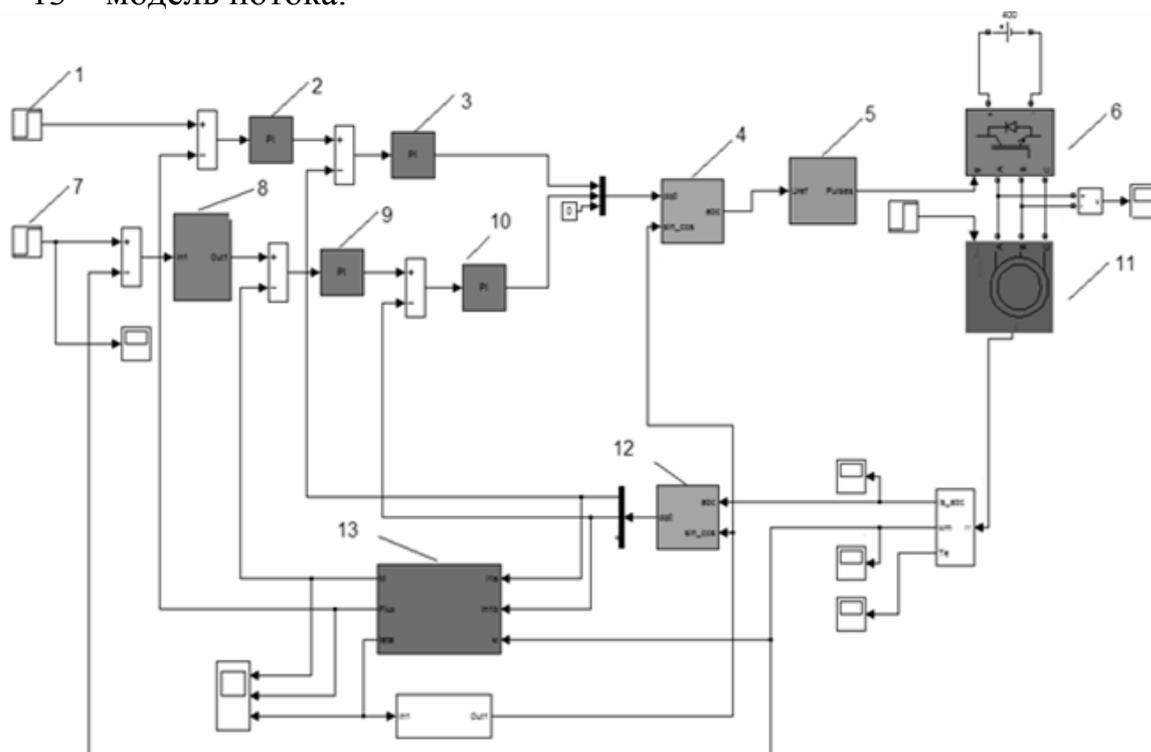


Рис. 5. Математическая модель системы управления приводным двигателем прокатного стана

На рис. 6 показаны переходные процессы в системе.

В момент времени $t = 0,05c$ на входе контура скорости появляется ступенчатое воздействие, соответствующее задаваемой скорости, равной 50 рад/с . После этого в системе начинается переходный процесс по скорости двигателя. При $t = 0,34c$ скорость двигателя достигает заданного значения. При этом перерегулирование в системе отсутствует. На этом участке переходного процесса двигатель развивает значительный пусковой момент и после выхода на задание момент двигателя уменьшается до значения равного моменту потерь при вращении.

При $t = 1c$ скачком увеличивается момент нагрузки на $600 \dot{I} \cdot i$. Скорость двигателя при этом уменьшается, однако система без перерегулирования через $0,025c$ компенсирует отклонение выходной величины от задания. При этом дви-

гатель развивает момент, равный моменту нагрузки на валу и моменту потерь вращения двигателя.

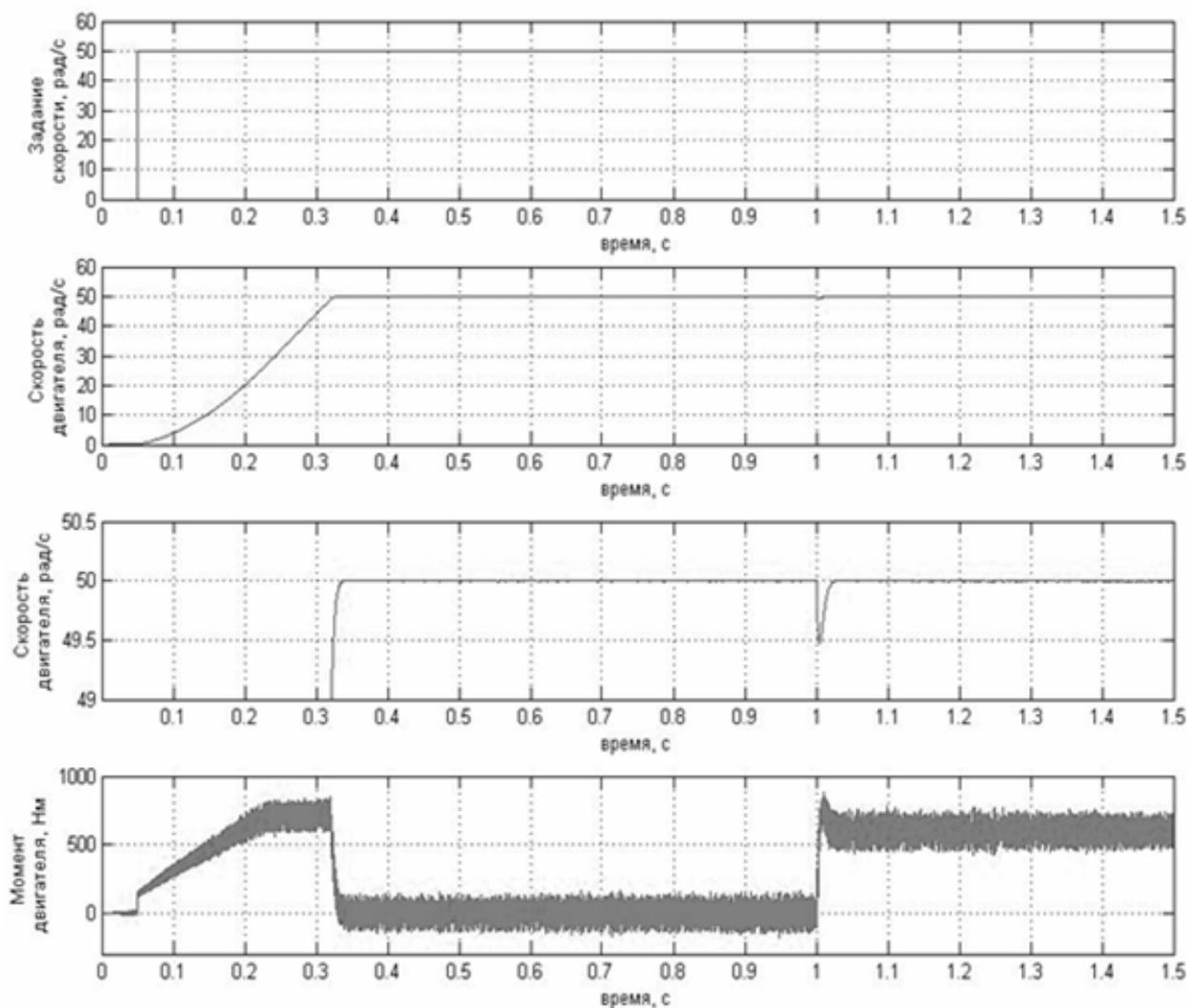


Рис. 6. Переходные процессы в системе при использовании нечеткого логического регулятора

Выводы. Из переходного процесса по скорости двигателя видно, что данная система объединила в себе преимущества настройки на модульный и симметричный оптимум. При скачкообразном изменении задания система выходит на заданный уровень скорости практически без перерегулирования, а при приложении нагрузки компенсирует отклонение выходной величины от задания.

Таким образом, разработана система векторного управления асинхронным двигателем с использованием нечеткого логического регулятора, которая обеспечила устойчивость и высокое качество в работе, как при изменении задания, так и приложении возмущения в виде нагрузки.

К перспективам дальнейшего исследования можно отнести разработку системы управления технологической линией по производству алюминиевой катанки, на базе асинхронного электропривода и нечеткого логического регулятора.

Список литературы

1. Таран Ю.П., Николаенко А.Н. Совершенствование управления скоростными режимами работы технологической линии по производству алюминиевой катанки// *Металлургия.*-2007.-№16

1. Blashke F. Das Prinzip der Feldorientierung, die Grundlage für die TRANSVEKTOR - Regelung von Drehfeldmaschinen// *Siemens-Zeitschrift.* – 1971. – Bd. 45. – H. 10. – S.757-760.

3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием.- М.: Академия, 2006. - 263с.

4. В. Козаченко. Основные тенденции развития встроенных систем управления двигателями и требования к микроконтроллерам// *CHIP NEWS.* 1999.№5.

5. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288с.

6. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System// *IEEE Trans. Systems & Cybernetics.*- 1993.- Vol.23.-P.665-685.

7. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети.- М.: Физматлит, 2001.-224с.

*Рекомендовано до публикації д.т.н. Бештою О.С.
Надійшла до редакції 20.05.09*

УДК 621.391

© В.Л. Кожевников, А.В. Кожевников

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ОПРОСА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Изложена аналитическая методика для расчета времени цикла опроса измерительных преобразователей, обеспечивающая требуемую точность телеизмерений и базирующаяся на автокорреляционной функции контролируемого параметра технологического процесса.

Викладено аналітичну методику для розрахунку часу опитування вимірювальних перетворювачів, що забезпечує потрібну точність телевимірювань та базується на автокореляційній функції технологічного параметра, що контролюється.

Analytical procedure for calculation of the measuring converters poll cycle time were presented. This procedure ensure essential precision of telemetry and based on technological process supervised parameter autocorrelation function.

Введение. В современных информационно-измерительных комплексах (ИИК), в том числе и многофункциональных телемеханических системах, обеспечивающих многоканальные телеизмерения текущих (ТТ) и интегральных (ТИ) телеизмерений, представление информации осуществляется в цифровой форме. При этом сигналы первичных измерительных преобразователей (ПИП), которые во многих случаях являются аналоговыми, подвергаются дискретизации по времени и квантованию по уровню. Эти процессы вносят свои составляющие погрешности в результаты измерений, которые регламентируются для телемеханических комплексов классами точности по ГОСТ 26.205-88 [1].

Число уровней квантования зависит N от разрядности n аналого-цифрового преобразователя (АЦП) как $N = 2^n$. По этой причине погрешностями квантования АЦП по уровню при разрядностях $m = 10 \dots 12$, характерных для

цифровых ПИП параметров технологических процессов, в большинстве случаев можно пренебречь. Вместе с тем дискретизация по времени существенно влияет на точность восстановления сигнала на стороне приема и непосредственно определяет быстродействие многоканальных телеизмерений (которое также нормируется упомянутым ГОСТ).

Анализ текущего состояния вопроса. Известен ряд методов решения задачи определения периода дискретизации аналоговых сигналов, или времени опроса ПИП [2], из которых следует отметить основанные на использовании теоремы Котельникова и критерия Джоли, среднего числа пересечений преобразуемой случайной величиной значения её математического ожидания в единицу времени, а также свойств автокорреляционной функции (АКФ) контролируемого параметра технологического процесса.

Формулировка цели работы. Целью работы является разработка методики определения времени цикла опроса измерительных преобразователей, пригодная для использования при курсовом и дипломном проектировании систем передачи технологической информации.

Изложение основного материала исследований. Анализ погрешностей канала измерений технологической информации производится в следующих предположениях:

- систематические ошибки ПИП отсутствуют;
- при анализе точности канала измерений учитываются только этапы преобразования сигнала параметра технологического процесса непосредственно в ПИП и его последующего квантования по времени;
- случайные ошибки различной природы являются независимыми и подчиняются нормальным законам распределения.

Тогда среднеквадратичная погрешность восстановленного сигнала на стороне приема составит

$$\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}, \quad (1)$$

где σ_a и σ_b – среднеквадратичные погрешности, вызываемые непосредственно ПИП и дискретностью их опроса. Для нормального закона распределения случайных величин характерно правило “ 3σ ”, согласно которого максимальное значение отклонения величины от своего математического ожидания (погрешности) укладывается в интервал $\pm 3\sigma$. Тогда, располагая значением класса точности ПИП, которое является величиной максимальной приведенной ко входу преобразователя погрешности, выраженной в процентах γ_0 , его максимально допустимая среднеквадратичная погрешность может быть выражена как

$$\sigma_a = \frac{\gamma_0}{300}.$$

Таким образом, если по техническим условиям задан класс точности телеизмерений γ_{om} , то, в рамках принятых предположений, максимально допустимая среднеквадратичная погрешность квантования сигнала по времени с учетом (1) составит

$$\sigma_b = \sqrt{\left(\frac{\gamma_{om}}{300}\right)^2 - \left(\frac{\gamma_o}{300}\right)^2}. \quad (2)$$

Соотношение величин погрешностей аналоговой части канала телеизмерений и квантования сигнала по времени, определяется на основании технико-экономического сравнения вариантов системы передачи информации в целом и выходит за рамки данной работы. Поэтому в дальнейшем будем полагать, что в погрешности σ составляющие $\sigma_b = \sigma_a$ и значение σ_b определяется как

$$\sigma_b = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{\gamma_{om}}{300\sqrt{2}}. \quad (3)$$

Рассматриваемая в данной работе методика определения времени опроса ПИП t_0 является модификацией известной [2], которая основана на графоаналитическом анализе АКФ контролируемого параметра технологического процесса $R(\tau)$.

Пусть методом аппроксимации аналогового сигнала цифровым является ступенчатая экстраполяция, при котором оцифрованное значение измеряемого сигнала в любой момент времени принимается равным значению, полученному в последний предшествующий ему момент опроса ПИП. Тогда, если измеряемая величина между моментами опроса изменяется монотонно, в момент опроса $t = 0$ (рис. 1) погрешность $\sigma_b = 0$, а к моменту следующего опроса t_0 достигает максимального значения. Таким образом, при ступенчатой экстраполяции для произвольного номера момента опроса i , рассматриваемая погрешность составляет

$$\Delta x(t, t_0, i) = x(i \cdot t_0) - x(t); \quad i \cdot t_0 \leq t \leq (i+1) \cdot t_0. \quad (4)$$

Если $x(t)$ описывает стационарный случайный процесс [4], то математическое ожидание Δx равно нулю, так как в силу стационарности $M[x(i \cdot t_0)] = M[x(t)]$, а с учетом линейности операции определения математического ожидания

$$M[\Delta x] = M[x(i \cdot t_0) - x(t)] = M[x(i \cdot t_0)] - M[x(t)] = 0.$$

После введения обозначения $\tau = t - i \cdot t_0$ с учетом определения корреляционной функции $R(\tau)$, дисперсия составит

$$\begin{aligned} D[\Delta x] &= M[x(i \cdot t_0) - x(t)]^2 = M[x(i \cdot t_0)^2] - 2M[x(i \cdot t_0)x(t)] + M[x(t)^2] = \\ &= 2[R(0) - R(\tau)]. \end{aligned} \quad (5)$$

Усреднение полученной величины по τ в пределах от 0 до t_0 даёт выражение

$$D_b = 2 \left[R(0) - \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} R(\tau) d\tau \right]. \quad (6)$$

Данное уравнение является математической основой для решения задачи нахождения t_0 по АКФ и заданному значению среднеквадратичной погрешности $\sigma_b^2 = D_b$.

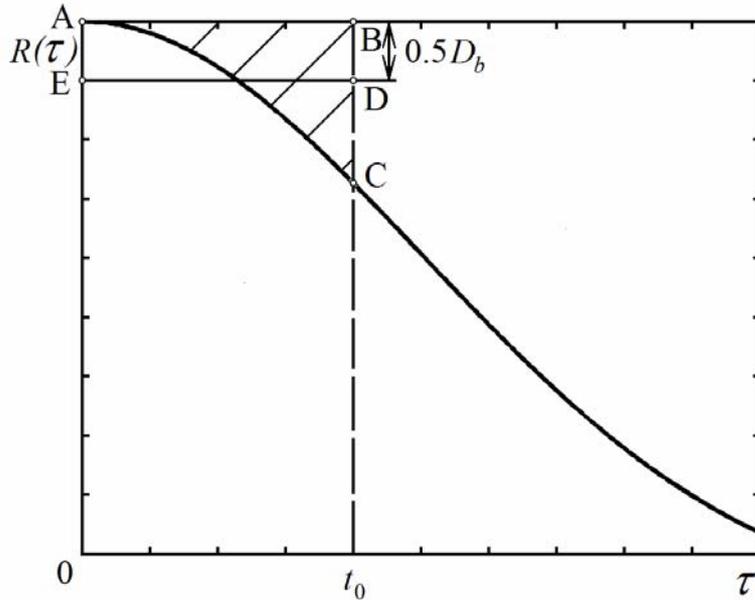


Рис. 1. Графическая интерпретация среднеквадратичной погрешности, вызываемой дискретностью опроса ПИП

Графически (рис. 1) величина D_b представляет собой удвоенную высоту прямоугольника ABDE с основанием t_0 , имеющего такую же площадь, как и фигура ABC над графиком $R(\tau)$.

Пусть АКФ нормирована, так что $R(0) = 1$ и её значения $\{R(j)\}_{j=0, \dots, n}$ заданы для дискретных моментов времени $\{\tau_j\}_{j=0, \dots, n}$, $\tau_j = j \cdot \Delta t$. Для каждого интервала дискретизации уравнения линейной аппроксимации АКФ имеют вид $R_j(\tau) = a_j - b_j \cdot \tau$, где коэффициенты $\{a_j\}_{j=1, \dots, n}$ и $\{b_j\}_{j=1, \dots, n}$ определяются из соотношений

$$a_j = R(j-1) - \frac{R(j) - R(j-1)}{\tau_j - \tau_{j-1}} \tau_j; \quad b_j = \frac{R(j-1) - R(j)}{\tau_j - \tau_{j-1}}. \quad (7)$$

Известная методика определения значения t_0 [2] предполагает нахождение номера интервала дискретизации k , удовлетворяющего соотношению

$$D_b(k) \leq D_b \leq D_b(k+1), \quad (8)$$

где $D_b(k)$ – значение среднеквадратичной погрешности в момент времени $\tau_k = k \cdot \Delta t$, которое с учетом (6) и принятой кусочно-линейной аппроксимации АКФ составляет

$$\begin{aligned} D_b(k) &= 2 \left[R(0) - \frac{1}{k \cdot \Delta t} \sum_{j=1}^k \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} (a_j - b_j \cdot \tau) d\tau \right] = \\ &= 2 \left[R(0) - \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \left(a_j - \frac{b_j \cdot \Delta t}{2} \cdot (2j-1) \right) \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

С учетом (8) интервал локализации величины t_0 составляет $\tau_k \leq t_0 \leq \tau_{k+1}$. Далее из квадратного уравнения

$$\begin{aligned} D_b &= 2 \left\{ R(0) - \frac{1}{(k+\delta) \cdot \Delta t} \left[\sum_{j=1}^k \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} (a_j - b_j \cdot \tau) d\tau + \int_{k\Delta t}^{(k+\delta)\Delta t} (a_k - b_k \cdot \tau) d\tau \right] \right\} = \\ &= 2 \left\{ R(0) - \frac{1}{k+\delta} \left[\sum_{j=1}^k \left(a_j - \frac{b_j \cdot \Delta t}{2} \cdot (2j-1) \right) + \delta \left(a_k - \frac{b_k \cdot \Delta t}{2} \cdot (2k+\delta) \right) \right] \right\}, \end{aligned} \quad (10)$$

определяется величина δ , уточняющая значение t_0 . Окончательно искомое время опроса ПИП составляет

$$t_0 = (k + \delta) \cdot \Delta t. \quad (11).$$

Недостатком изложенной методики является необходимость предварительного вычисления коэффициентов линейной аппроксимации АКФ, а также громоздкость вычислений.

Предлагаемая методика использует аналитический метод вычисления выражения (6), использующий графическую интерпретацию определенного интеграла. Из рис. 2, показывающего детальную графическую интерпретацию составляющих среднеквадратичной погрешности, следует, что

$$D_b = 2 \frac{S_1 + S_2 + S_3}{k + \delta}, \quad (12)$$

где составляющие имеют значения

$$S_1 = \frac{k \cdot D_b(k)}{2}; \quad S_2 = (R(0) - R(k)) \cdot \delta; \quad S_3 = \frac{(R(k) - R(\delta))}{2} \cdot \delta, \quad (13)$$

при чем

$$D_b(k) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k 2(k-j+0.5)(R(j-1) - R(j)); \quad (14)$$

$$R(\delta) = R(k) - [R(k) - R(k+1)]\delta. \quad (15)$$

То есть соотношения (12)-(15), с учетом того, что согласно (11) $k + \delta = \frac{t_0}{\Delta t}$, дают решение задачи определения среднеквадратичной погрешности в произвольный момент времени t_0 .

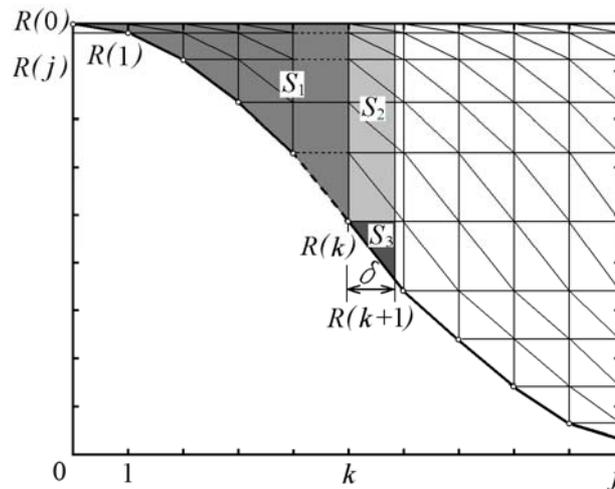


Рис. 2. Графическая интерпретация составляющих среднеквадратичной погрешности

С использованием данного подхода может быть решена и обратная задача определения времени опроса ПИП для обеспечения заданной погрешности σ_b . Значение k определяется как максимальное, удовлетворяющее соотношению $D_b(k) \leq D_b$, где значение $D_b = \sigma_b^2$, а $D_b(k)$ определяется из выражения (14). Решая совместно уравнения (12), (13), (15), получаем квадратное уравнение относительно величины δ

$$[R(k) - R(k+1)]\delta^2 + \{2[R(0) - R(k)] - D_b\}\delta + k[D_b(k) - D_b] = 0, \quad (16)$$

корень которого, лежащий в интервале (0,1) и дает искомое значение. Окончательно величина времени опроса ПИП определяется из соотношения (11).

Выводы. Изложена аналитическая методика для расчета времени цикла опроса измерительных преобразователей, обеспечивающая требуемую точность телеизмерений и базирующаяся на автокорреляционной функции контролируемого параметра технологического процесса. Разработанная методика отличается от известных аналогов наглядностью и простотой вычислений, что позволяет использовать ее при курсовом и дипломном проектировании систем передачи технологической информации.

Список литературы

1. ГОСТ 26.205 – 88. Комплексы и устройства телемеханики. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 26.205 – 83; Введ. с 01.01.2005.
2. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микро ЭВМ. – К.: Вища шк., 1990. – 354 с.
3. Ицкович Э.Л. Контроль производства с помощью вычислительных машин. – М.: Энергия, 1975. – 416 с.
4. Кузьмин И.В., Кедрус В.А. Основы теории информации и кодирования. – К.: Вища шк., 1977. – 279 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.
Надійшла до редакції 22.05.09*

УДК 622.232.002.5-52

© П.С. Познанский, В.Д. Иркиевский

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

В статье рассмотрен вопрос автоматизации процесса определения возможной производительности угледобывающего комплекса в условиях конкретного очистного забоя.

В статті розглядається питання автоматизації процесу визначення можливої продуктивності вуглевидобувного комплексу в умовах конкретного очисного вибою.

The article deals with the problem of automation of the process of determining the coal-winning complex's possible productivity in the given coal-face conditions.

Проблема и ее связь с научными и техническими программами. Основным направлением развития угледобывающей отрасли Украины является интенсификация добычи угля, что, в свою очередь, предъявляет новые требования к двигателям выемочных машин. Правильный учёт возможной нагрузки угледобывающей машины с точки зрения полного использования двигателя выемочной машины по нагреву в условиях интенсификации очистной выемки позволяет выявить резерв недогрузки двигателя и поднять ее среднее значение увеличением скорости подачи машины, а, следовательно, повысить ее производительность.

Последние достижения и публикации. Проблеме повышения производительности посвящено множество работ [1,2,3,4,5], в которых, в основном, определение параметров работы угледобывающего комбайна ведется по установленным значениям параметров очистного забоя, т.е. в статическом режиме. В данной статье выбор рационального режима работы угледобывающего комбайна осуществляется в процессе его нормальной эксплуатации при выполнении сменного или заданного объёма работы. Характер режима работы определяется непрерывным контролем с помощью автоматических устройств, обеспечивающих отражение динамики работы выемочной машины.

Постановка задачи. Цель данной статьи – разработка алгоритма определения возможной производительности угледобывающего комплекса в условиях

действующего забоя с учетом теплового нагрева электродвигателя очистного комбайна. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- установить зависимость для аналитического определения скорости подачи, как одного из влияющих факторов на производительность угледобывающего комплекса;
- установить зависимость для параметров энергетической характеристики, как фактора, учитывающего тепловой нагрев двигателя выемочной машины;
- построить функциональные схемы аппаратуры автоматизации непрерывного контроля рабочих параметров очистного комбайна.

Изложение материала и результаты.

Производительность относится к числу основных макроуровневых показателей, интегрально характеризующих уровень качества и степень конкурентоспособности очистных комбайнов [6]. Производительность зависит от целого ряда факторов – горно-геологических условий, проектно-компоновочных решений, конструктивных и режимных параметров очистного комбайна, а также взаимодействующих с ним машин (прежде всего конвейера и механизированной крепи), технологии и организации работ в очистном забое.

Различают теоретическую, техническую и эксплуатационную производительности [6].

Теоретическая производительность – количество отделённой горной массы (в тоннах) в единицу времени (как правило, в минутах) при непрерывной работе очистного комбайна, определяют по формуле

$$Q_{теор} = m \cdot b \cdot \gamma \cdot V_n \quad (1)$$

где m – расчётная мощность пласта, м; b – ширина захвата очистного комбайна, м; γ – плотность вынимаемого массива, т/м³; V_n – скорость подачи очистного комбайна, м/мин – является основным режимным параметром комбайна.

Вследствие постоянности конструктивных параметров комбайна (ширина захвата) и геологических параметров вынимаемого массива максимальную теоретическую производительность возможно достичь лишь при максимально возможной для данного комбайна скорости подачи.

В качестве ограничивающих факторов, определяющих в конечном итоге V_n , в общем случае могут выступать нижеприведенные факторы, входящие в состав двух групп ограничений:

1. Ограничения по техническим возможностям очистного комбайна:

- максимальное значение рабочей скорости подачи комбайна по технической характеристике;
- максимальное значение рабочего тягового усилия по технической характеристике;
- устойчивый момент электродвигателей подсистем привода исполнительных органов;
- погрузочная способность исполнительных органов;
- предельная температура нагрева двигателя.

2. Факторы внешней для очистного комбайна среды технического и природного характера:

- теоретическая производительность забойного конвейера с учетом размеров проходного сечения для отделенного угля под комбайном;

- скоростные возможности крепления забоя механизированной крепью, скорость передвижки секций крепи;

- газоносность пластов, метановыделение.

Все эти факторы действуют ограничивающе, т.е. снижают производительность комплекса ввиду незапланированных простоев, потерь времени.

Техническую производительность рассчитывают по формуле [7]:

$$Q_{техн} = Q_{теор} \cdot k_t \quad (2)$$

Значение коэффициента k_t определяет, в общем случае, отношение времени непрерывной работы выемочной машины ко времени полного цикла работы комплекса.

Эксплуатационную производительность устанавливают по формуле:

$$Q_{экспл} = Q_{техн} \cdot k_t \cdot k_э \quad (3)$$

где $k_э$ – коэффициент использования технических возможностей комплекса.

Обоснованное повышение эффективности выемочных машин [7] возможно на базе анализа режимов их работы, при которых производительность определяется перегрузочной способностью двигателя в условиях реальной электрической сети, допустимым его нагревом. К указанным режимам следует отнести режимы максимально возможной производительности и минимума затрат времени на выполнение заданного объема работы.

Используемая в работе методика позволяет определить значения параметров энергетических характеристик, на основании определения которых возможно рассчитать максимально возможную по нагреву двигателя производительность и максимальную для выбранного режима скорость подачи, являющуюся главным фактором при формировании производительности.

Традиционно определение скорости подачи осуществляется по неизменному фиксированному значению устойчивой мощности привода, которая не отражает возможности последнего по нагреву.

Установление значения скорости подачи машины в соответствии с конкретными горно-техническими условиями и допустимым нагревом двигателя позволяет повысить ее среднее значение и увеличить нагрузку на очистной забой.

Аналитическое определение средней скорости подачи возможно путём совместного решения уравнений:

$$L_{см} = 60V_n \cdot t, \quad (4)$$

$$P = A + BV_n, \quad (5)$$

$$P = f(t), \quad (6)$$

где $L_{см}$ – объем работы, который может быть выполнен выемочной машиной в течение смены, м;

V_n – средняя скорость подачи машины м/мин;

t – минимальное время, необходимое на выполнение заданного объема работы, по окончании которого двигатель будет нагрет до предельной температуры, мин;

P – средняя мощность, потребляемая двигателем выемочной машины в процессе нормальной эксплуатации, кВт;

A – параметр энергетической характеристики – средняя мощность, расходуемая двигателем выемочной машины при нулевой скорости её подачи, прижатом к забою исполнительном органе и натянутом тяговом органе, кВт;

B – параметр энергетической характеристики – среднее приращение мощности на единицу скорости подачи, кВт/м/мин.

Значения параметров A и B могут быть получены графо-аналитическим методом, путем построения зависимости $P = f(V_n)$, полученной в процессе замеров мощности, соответствующей определенным значениям скорости подачи или же при помощи вычислительных устройств, на основе определения тех же значений мощности и скорости подачи.

В условиях реально действующей шахты на сегодняшний день, контролировать параметры энергетической характеристики можно с использованием действующей аппаратуры. Функциональная схема сбора и передачи информации о работе очистного комбайна представлена на рисунке 1.

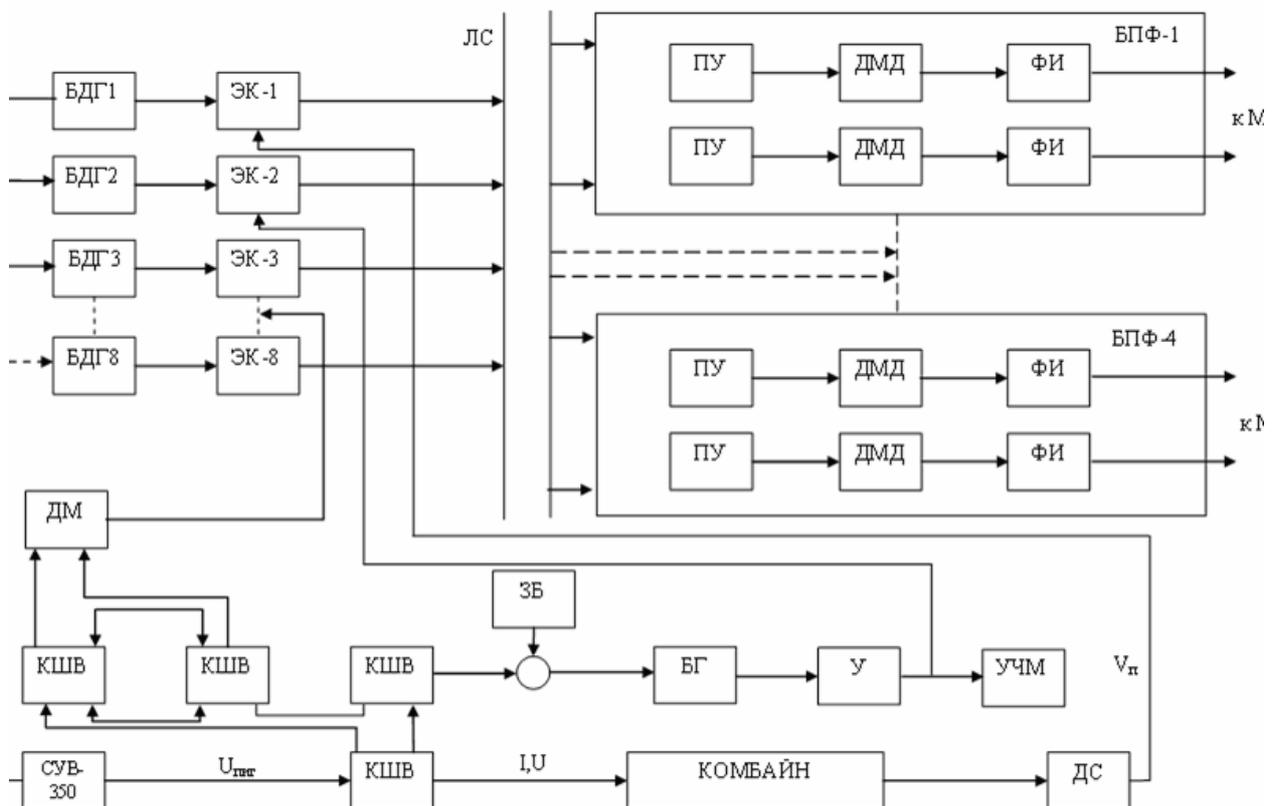


Рис.1 Функциональная схема сбора и передачи информации

Обозначения на схеме приняты следующие:

СУВ-350 – станция управления взрывобезопасная;

КШВ – коробка шахтная взрывобезопасная, содержит в себе датчики тока и напряжения;

ДС – датчик скорости;

ДМ – датчик мощности;

УЧМ – устройство чистомашинного времени работы комбайна;

ЗБ – задающий блок;

БДГ1-БДГ8 – блоки датчик-генераторов;

ЭК1-ЭК8 – электронные коммутаторы;

ЛС – линия связи;

БПФ – блок приемно-формирующий;

ПУ – приемное устройство;

ДМД – демодулятор;

ФИ – формирователь импульсов.

Передача информации на поверхность осуществляется по двум незанятым жилам телефонного кабеля на базе аппаратуры АКТ-8 [8]. Информация, полученная с датчиков мощности и скорости, на поверхности подлежит дальнейшей обработке в вычислительном устройстве, построенном на современной микропроцессорной технике.

Функциональная схема системы определения параметров энергетической характеристики представлена на рисунке 2.

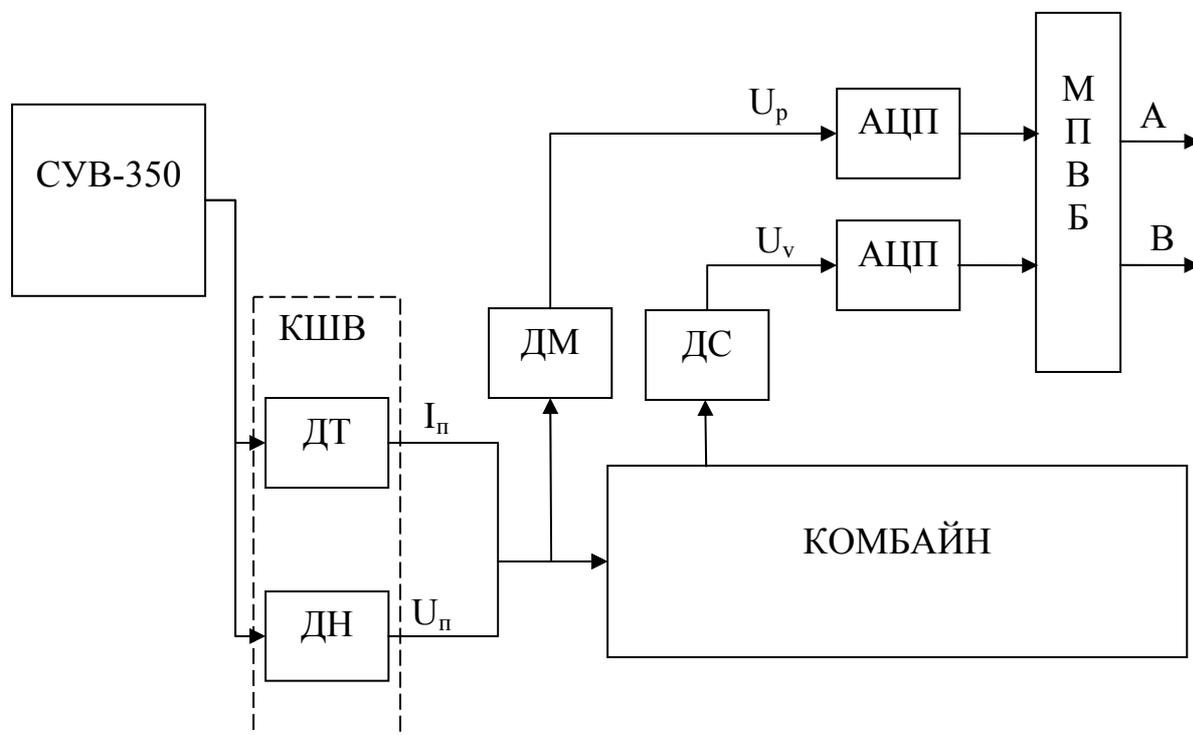


Рис. 2. Функциональная схема системы определения параметров энергетической характеристики

Где МПВБ – микропроцессорный вычислительный блок.

Для установления энергетических параметров при нормальной эксплуатации воспользуемся разработанным [7] алгоритмом:

Измеряемые напряжения U_p пропорциональные значениям мощности и U_v – пропорциональные значениям скорости подачи, поступают на входы АЦП в код. МПВБ производит измерение двух текущих значений мощности и соответствующих им значений скорости подачи:

$$P_1 = A + BV_{n1}, \quad (7)$$

$$P_2 = A + BV_{n2} \quad (8)$$

где A и B – искомые параметры энергетической характеристики

В каждом цикле производится двойной опрос датчиков с определением разности между полученными значениями:

$$P_2 - P_1 = B(V_{n2} - V_{n1}) \quad (9)$$

Следующий шаг – вычисление частного от деления разности текущих значений мощности на разность текущих значений скорости подачи. Полученное частное от деления представляет собой код значения параметра B энергетической характеристики.

$$B = \frac{P_1 - P_2}{V_{n1} - V_{n2}} = \frac{\Delta P}{\Delta V_n} \quad (10)$$

Одновременно с вычислением параметра B устройство производит вычисление кода значения параметра A как разности между вторым измеренным и преобразованным значением мощности и произведением вычисленного кода значения параметра B и второго измеренного и преобразованного значения скорости подачи.

$$A = P_2 - BV_{n2} \quad (11)$$

Аналитически параметры энергетической характеристики могут быть просчитаны по формулам, расчет которых приведен в работе [7]:

$$A = 0,0025 \frac{V_p \cdot n_{pp}}{\eta} (\gamma + \beta \bar{A}), \quad (12)$$

$$B = 2 \frac{b \cdot m \cdot \delta \cdot \bar{A}}{\eta} \quad (13)$$

где γ , β , δ – эмпирические коэффициенты, значения которых зависят от конкретных свойств добываемого угля (марка, вязкость, хрупкость); \bar{A} – сопротивление угля резанию, кН/м; V_p – средневзвешенная скорость резания, м/с; n_{pp} – средневзвешенное количество одновременно режущих резцов; η – КПД привода выемочной машины; b – ширина захвата выемочной машины, м; m – вынимаемая мощность пласта, м;

Зависимость $P = f(t)$ представляет собой степенную функцию, которую в логарифмических координатах можно выразить уравнением прямой линии, проходящей через точки с координатами A ($\lg P_{\text{ч}}$, $\lg t_{\text{ч}}$) и B ($\lg P_{\text{д}}$, $\lg t_{\text{д}}$).

Подставив в это уравнение значения $t_{\text{ч}} = 1$ час и $t_{\text{д}} = 10$ часов и решив его, можно убедиться в справедливости выражения:

$$P = P_q \cdot t^{k1} \quad (14)$$

где $k1 = \lg \frac{P_0}{P_q}$

Решая совместно уравнения (4), (5), (14), находим:

$$V_n = \frac{P_q \cdot t^{k1} - A}{B} \quad (15)$$

Тогда

$$L_{cm} = 60 \frac{P_q \cdot t^{k1} - A}{B} \quad (16)$$

или

$$BL_{cm} + 60At - 60Pt = 0 \quad (17)$$

С учетом организационно-технических факторов выражение (17) можно записать следующим образом:

$$B \frac{T_p}{t_{np}} + 60 \cdot \left(A - \frac{B}{t_{np}} \right) \cdot t - 60P_q \cdot t^{k1} = 0 \quad (18)$$

где T_p – чистомашинное время работы выемочного комбайна, мин; t_{np} – суммарный норматив времени, включающий в себя норму времени на выполнение вспомогательных операций, норму времени на неперекрываемые технологические операции и затраты времени на переноску оборудования, мин/м;

Таким образом, полученное выражение (18) позволяет в процессе нормальной эксплуатации по значениям параметров энергетической характеристики устанавливать сменный объем работы (количество циклов) и минимальное время, за которое этот объем может быть выполнен с допустимым ограничением по нагреву двигателя, максимальным моментом и учетом организационно-технических факторов. Установленное значение объема следует оценивать как допустимую производительность выемочной машины в конкретной лаве.

Выводы: Получено выражение для определения возможной производительности выемочной машины учитывающее тепловой нагрев электродвигателя комбайна в процессе нормальной эксплуатации, для чего получили зависимость для аналитического определения скорости подачи и параметров энергетической характеристики двигателя выемочной машины. Построены функциональные схемы аппаратуры автоматизации непрерывного контроля рабочих параметров очистного комбайна.

Список литературы

1. Иркиевский В.Д., Кобец В.М. Алгоритмы и комплектная аппаратура для повышения производительности, надежности и контроля забойного оборудования // Междунар. межвузовская науч.-практ. конф.я «Надежность и качество горных машин и оборудования». – М: МГИ, 1991. - с. 7-11.
2. Иркиевский В.Д., Шиков Н.Н., Кобец В.М. Контроль режимов и идентификация аварийных ситуаций объектов горных предприятий с помощью микропроцессорной техники // Проблемы разработки угольных пластов Донбасса: Сб. науч. тр.– Киев: УМКВО, 1991. – с.99-103.

3. Иркиевский В.Д. Автоматическое управление очистным комплексом //Сб. ДГМИ «Перспективы развития угольной промышленности в XXI веке», Алчевск, 2002. – с.172-179.

4. Иркиевский В.Д. Аналитические исследования параметров автоматизированной системы управления гидравлическим исполнительным механизмом // Вестник МАНЭБ.- т.7.- № 7(55). – Алчевск: Ладо, 2002. – с.54-61.

5.Воропаева Виктория Яковлевна Разработка системы автоматизированного управления технологическими процессами добычных участков угольных шахт: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.07 / Донецкий гос. технический ун-т. - Донецк, 1995. — 18с.

6. Гірничі машини для підземного видобування вугілля: Навч.посіб. для вузів/ П.А. Гобатов, І.В. Петрушкін, М.М. Лисенко, С.В. Павленко, В.В. Косарев; під заг.ред П.А.Горбатова. – 2-ге вид. перероб. і доп. – Донецьк: Норд комп'ютер, 2006. – 669с.: іл.

7. Хорин В.Н., Верклов Б.А., Иркиевский В.Д. Определение производительности выемочных машин. – М.: Недра, 1977.- 78с.

8. Иркиевский В.Д., Кобец В.М. Аппаратура контроля телемеханическая восьмиканальная АКТ-8. – Луганск: УкрНТИ ЛЦНТЭИ, 1995. – 3с

Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.

Надійшла до редакції 14.05.09

УДК 66.011.

© Е.В. Белоброва

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СОВМЕЩЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ УПРАВЛЯЮЩИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

В статье приведены результаты исследований по разработке системы оптимального управления совмещенным процессом с распределенными управляющими воздействиями.

В статті наведено результати досліджень по створенню системи оптимального управління суміщеним процесом з розподіленими керувальними діями.

Results of the studies are brought in article on system development of optimum management combined by process with portioned controlling influence.

Вступление. Снижение энерго и материалоемкости технологических процессов реализуется путем усовершенствования существующих и создания новых технологических принципов, одним из которых является направленное совмещение реакционных и массообменных процессов. [1] Для многих производств совмещенные процессы (реакционно-ректификационные, -экстракционные, -десорбционные, -кристаллизационные и др.) являются основным звеном технологического процесса, которое определяет качество и себестоимость вырабатываемой продукции.

Таким образом, повышение технико-экономических показателей совмещенных процессов это актуальная задача при решении которой особого внимания заслуживает оптимальное управление процессом.

Обзор публикаций. В работах украинских и зарубежных ученых [2,3,4,5] рассмотрены теоретические основы и решен ряд практических задач математического моделирования и оптимального управления реакционными и массообменными процессами. Вместе с тем еще недостаточно разработаны основы оп-

тимального управления совмещенными (реакционно-массообменными) процессами, одной из важнейших особенностей которых является распределенность в пространстве параметров, их характеризующих. Это обстоятельство приводит к необходимости организации распределенного управления такими процессами при построении систем оптимального управления.

Целью настоящей статьи является разработка и исследование системы оптимального управления совмещенными процессами с распределенными управляющими воздействиями. Поставленная задача решается на примере совмещенного реакционно-десорбционного процесса первичной этерификации тетрахлортитана бутиловым спиртом в производстве титанорганических реактивов.

Технологические основы первичной этерификации тетрахлортитана бутиловым спиртом в реакторе-десорбере и результаты работ по компьютерному моделированию этого процесса изложены в работах [6,7]. Приведенная в этих работах математическая модель использована при постановке и решении задачи оптимизации.

Возможны несколько постановок оптимизационных задач. Во-первых, максимизация общей нагрузки по тетрахлортитану:

$$Z = \sum g_j^0 \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничениях по содержанию двухзамещенного хлорэфира в продуктах реакции:

$$U_1^{ДХДТ} \geq U_{\min}^{ДХДТ}; T_j \langle T_{\max}, V_j^i \in [1, N] \quad (2)$$

где Z – нагрузка по тетрахлортитану; V_j^i – поток i -го компонента, который оставляет j -ю тарелку; g_j^0 – подача тетрахлортитана на j -тарелку; T_j – температура на j -тарелке; $U_1^{ДХДТ}$ – поток двухзамещенного хлорэфира ортотитановой кислоты (дихлордибутоксититана, ДХДТ), который оставляет тарелку № 1 – т.е. нижнюю, последнюю тарелку аппарата, что является выходом.

Более целесообразной представляется постановка задачи оптимизации процесса, при которой целевая функция представляет не нагрузку (вход), а выход процесса – поток двухзамещенного хлорэфира:

$$Z = U_1^{ДХДТ} = Z(\bar{g}^0, \bar{g}^1) \rightarrow \max \quad (3)$$

при ограничениях

$$J_{\min} \leq \left(\frac{\sum g_j^1}{\sum g_j^0} \right) = J \leq J_{\max}; \gamma_{\min} \leq \left(\sum g_j^0 \right) = \gamma \leq \gamma_{\max} \quad (4)$$

а также неперемемному условию

$$T_j \langle T_{\max}, V_j^a [1, N], \quad (5)$$

где $\bar{g}^0 = (g_1^0, g_2^0, \dots, g_n^0)$ – вектор подачи тетрахлортитана на тарелки аппарата;

$\bar{g}^1 = (g_1^1, g_2^1, \dots, g_n^1)$ – вектор подачи бутилового спирта на тарелки аппарата;

J, J_{\min}, J_{\max} – соответственно текущий и предельные коэффициенты избытка бутилового спирта. Теоретически минимальный коэффициент избытка бути-

лового спирта для полного превращения тетрахлортитана в двухзамещенный хлорэфир составляет $J_T = 2$. Поэтому, с учетом испарения спирта, $J_{\min} \cong 2,5$; $J_{\max} \cong 3,5$;

$\gamma, \gamma_{\min}, \gamma_{\max}$ – технологически допустимый диапазон возможных нагрузок по тетрахлортитану. Нас интересует область повышения нагрузки. Поэтому γ_{\min} принята равной для базового стационарного режима 50 моль/час, а $J_{\min} \cong 2,5$; $J_{\max} \cong 3,5$;

T_{\max} – температура, превышение которой опасно усилением побочных реакций, которые ухудшают качество готового продукта (85°C).

В такой постановке задачи оптимизации целевой функции является выход двухзамещенного хлорэфира $U_1^{ДХЭТ}$, а варьируются компоненты векторов \vec{g}^0 и \vec{g}^1 , которые представляют распределенные управляющие воздействия.

Для примера нами исследована задача меньшей размерности, являющаяся подзадачей описанной выше постановки. А именно, векторы \vec{g}^0 и \vec{g}^1 представлены только двумя компонентами (g_{10}^0, g_8^0), а также (g_{10}^1, g_8^1). Все остальные компоненты питания приняты нулевыми (точнее, заданными постоянными в начальных условиях). Такой подход значительно уменьшает размерность задачи оптимизации (с 20 до четырех), но разрешает решать оптимизационную проблему «по частям» – фиксируя оптимальные расходы для данной пары тарелок ($n_1 = 10, n_2 = 8$) и задавая их как начальные условия, искать оптимальные результаты для другой пары, например ($n_1 = 9, n_2 = 7$).

Что касается вектора \vec{g}^1 , учитывая тот факт, что подача спирта в аппарат обычно характеризуется некоторым коэффициентом избытка сверх теоретического:

$$\left(\frac{g_j^1}{g_j} \right) = J_j \gg J_T, \quad (6)$$

то для дальнейшего снижения размерности задачи целесообразно принять допущение о постоянстве коэффициента избытка спирта на всех тарелках аппарата:

$$\left(\frac{g_j^1}{g_j} \right) = J_j = const = J \quad (7)$$

Мало что меняя в сущности оптимального режима, это допущение разрешает значительно упростить систему автоматического оптимального управления, установив локальный регулятор соотношения на линию подачи спирта в колонну, распределяя его на каждую тарелку с постоянным соотношением с подачей тетрахлортитана на данную тарелку.

Итак, варьируем величину параметра J , сделав его свободной переменной при оптимизации:

$$\max Z(J) \quad (8)$$

Использование двух тарелок для подачи тетрахлортитана (n_1, n_2) разрешает сделать такие замены переменных:

$$g_0 = g_{10}^0 + g_8^0; \quad n_1 = 10; n_2 = 8$$

$$\theta = g_8^0 / g^0 ; \quad (1 - \theta) = g_{10}^0 / g_0$$

При этом рассматриваются два параметра, что облегчает интерпретацию результатов оптимизации с использованием распределенных управляющих воздействий. Во-первых, это g_0 – нагрузка пары тарелок по тетрахлортитану; θ – коэффициент распределения нагрузки на дополнительную (в данном случае 8-ю) тарелку.

Вектор параметров оптимизации \bar{X} становится таким:

$$\bar{X} = (X_1, X_2, X_3) \quad (9)$$

где, $X_1 - \theta, X_2 - J, X_3 - g_0$

при начальных значениях, которые отвечают базовому стационарному режиму $g_{0j} = 50 \text{ ÷ } 100$; $\theta_H = 0$; $J_H = 150/50 = 3$.

Все параметры оптимизации должны изменяться в допустимых для них границах:

$$50 \leq g_0 \leq 100;$$

$$0 \leq \theta \leq 1;$$

$$2,5 \leq J \leq 3,5$$

Такое разнообразие диапазонов затрудняет контроль границ. Поэтому принятое довольно обычное решение о масштабировании натуральных диапазонов изменения в стандартный:

$$0 \leq X_i \leq 1$$

путем замены переменных:

$$g_0 = g_0^{\min} + X_3 (g_{\max}^0 - g_{\min}^0) = 50 + X_3 (100 - 50); \quad (10)$$

$$J = J_{\min} + X_2 (J_{\max} - J_{\min}) = 2,5 + X_2 (3,5 - 2,5) \quad (11)$$

Учет ограничений в процессе оптимизации заключается в проверке невыхода переменной за границы диапазона $[0, 1]$ или $[0,01, 0,99]$.

Есть еще одно ограничение - по максимальной температуре. Учет этого ограничения осуществляется методом штрафной функции:

$$Z = Z(\bar{X}) * \lambda; \quad (12)$$

$$\lambda = \begin{cases} 1, \text{ при } (T_j \leq T_{\max}), \forall j \\ ((T_{\max} + 5 - T)/5)^2, \text{ при } T_{\max} < T < T_{\max} + 5 \end{cases} \quad (13)$$

При этом штрафной множитель уменьшает целевую функцию в 4 раза при «заступе» на $2,5^\circ\text{C}$ и до нуля при $T - T_{\max} = 5$.

Для гарантированного не нарушения можно преобразовать функцию штрафа следующим образом:

$$\lambda = \begin{cases} 1, \text{ при } T_j \leq (T_{\max} - dT) \\ ((T_{\max} - T) / dT)^2 \end{cases} \quad (14)$$

Тогда при приближении к предельной температуре на величину меньше dT включается штраф и метод оптимизации ищет такие значения X_i , что штраф остается минимальным или отсутствует.

Так как вычисления одного значения $Z(\vec{O})$ требует пребывания стационарного режима путем решения системы 80 нелинейных уравнений модели, то ясно, что градиентные методы типа Девидона, Флетчера-Пауелла здесь неэффективны. На вычисление численной производной идет слишком много времени. Поэтому достаточно эффективным, в этом случае, является метод покоординатной максимизации.

С математической точки зрения данный метод относится к методам покоординатного спуска (восхождения). Выбор данного метода оправдан тем, что ход процесса оптимизации остается все время очевидным для разработчика, так как варьируется, поочередно, одна из координат X_1 , потом X_2 , потом X_3 . Такой подход разрешает избежать численного вычисления производных, которое «съест» все преимущества градиентных методов.

Номер варьируемой координаты определяется генератором случайных чисел. При повторении координаты берется другая, которая не совпадает с предыдущей - это предотвращает заикливание на границе, так как точка «столкновения» все время меняется.

Координата изменяется в ее предыдущем направлении, если функция уменьшается, или знак l_i изменяется:

$$l_i = -l_i$$

Далее повторяется серия шагов до прохода точки локального максимума, находится середина последнего шага и выбирается из трех последних точек наилучшая. Затем все повторяется. При вариациях переменных на каждом шагу вызывается функция проверки допустимых границ переменных. При нарушении знак l_i меняется, затем производится расчет штрафа по температуре, а потом рассчитывается окончательное значение функции с учетом штрафа.

Для решения задачи оптимизации разработано соответствующие программное обеспечение. Программа имеет модульную структуру, что позволяет осуществлять ее быструю настройку на среду реализации (пакет TURBOVISION)

Результаты оптимизации (фрагменты) приведены в таблице 1.

В журнале оптимизации обозначены:

T - максимальная температура по высоте аппарата;

U_g - соответствует θ - коэффициенту распределения потоков на тарелку

№ 8 (другая часть поступит на тарелку № 10);

G_g - общая подача спирта на данную пару тарелок, определяется параметрами X_2 и G_t ;

где G_t - подача тетрахлортитана, определяется параметром X_3 ;

S_h - текущая величина коэффициента штрафа за приближением к предельной температуре, принятой $T_{\max} = 86^\circ C$, а интервал штрафования равняется $3^\circ C$ ($83-86^\circ C$);

U_4 - выход продукта, моль/час.

Таблица 1

Журнал оптимизации					
T=77.37	U8=0.015	Gs=151.5	Gt=505	Sh=1.00	U4=32.72
T=77.73	U8=0.010	Gs=153.0	Gt=510	Sh=1.00	U4=33.15
T=78.11	U8=0.010	Gs=155.1	Gt=517	Sh=1.00	U4=33.70
T=78.37	U8=0.010	Gs=156.5	Gt=521	Sh=1.00	U4=34.08
T=78.69	U8=0.010	Gs=158.4	Gt=528	Sh=1.00	U4=34.56
T=79.08	U8=0.010	Gs=160.6	Gt=535	Sh=1.00	U4=35.15
T=80.00	U8=0.010	Gs=166.4	Gt=554	Sh=1.00	U4=36.64
T=80.86	U8=0.010	Gs=171.9	Gt=573	Sh=1.00	U4=38.12
T=81.78	U8=0.010	Gs=178.4	Gt=594	Sh=1.00	U4=39.83
T=82.86	U8=0.015	Gs=187.2	Gt=624	Sh=1.00	U4=42.12
T=82.92	U8=0.030	Gs=229.8	Gt=71.8	Sh=1.00	U4=49.54
T=82.85	U8=0.030	Gs=230.2	Gt=71.8	Sh=1.00	U4=49.53
T=82.88	U8=0.030	Gs=230.0	Gt=71.8	Sh=1.00	U4=49.53
T=82.97	U8=0.025	Gs=229.8	Gt=71.8	Sh=1.00	U4=49.60
T=83.04	U8=0.020	Gs=229.8	Gt=71.8	Sh=0.97	U4=49.67
T=83.01	U8=0.022	Gs=229.8	Gt=71.8	Sh=0.98	U4=49.64
T=82.91	U8=0.025	Gs=230.2	Gt=71.8	Sh=1.00	U4=49.60
T=82.85	U8=0.025	Gs=230.6	Gt=71.8	Sh=1.00	U4=49.60
T=82.87	U8=0.025	Gs=230.4	Gt=71.8	Sh=1.00	U4=49.60
T=82.85	U8=0.025	Gs=229.4	Gt=71.6	Sh=1.00	U4=49.41
T=82.97	U8=0.025	Gs=231.0	Gt=72.1	Sh=1.00	U4=49.79
T=83.04	U8=0.025	Gs=232.0	Gt=72.4	Sh=0.96	U4=50.03
T=83.01	U8=0.025	Gs=231.5	Gt=72.2	Sh=0.98	U4=49.93
T=83.04	U8=0.020	Gs=231.0	Gt=72.1	Sh=0.97	U4=49.87
T=82.91	U8=0.030	Gs=231.0	Gt=72.1	Sh=1.00	U4=49.73
T=82.83	U8=0.036	Gs=231.0	Gt=72.1	Sh=1.00	U4=49.64
T=82.86	U8=0.033	Gs=231.0	Gt=72.1	Sh=1.00	U4=49.68
T=82.96	U8=0.030	Gs=231.8	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=49.91
T=83.02	U8=0.030	Gs=232.6	Gt=72.6	Sh=0.98	U4=50.11
T=83.00	U8=0.030	Gs=232.2	Gt=72.5	Sh=0.99	U4=50.03
T=82.91	U8=0.030	Gs=232.2	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=49.93
T=82.84	U8=0.030	Gs=232.5	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=49.92
T=82.86	U8=0.030	Gs=232.3	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=49.92
T=82.84	U8=0.035	Gs=232.2	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=49.85
T=82.96	U8=0.025	Gs=232.2	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=49.98
T=83.04	U8=0.018	Gs=232.2	Gt=72.3	Sh=0.97	U4=50.07
T=83.01	U8=0.021	Gs=232.2	Gt=72.3	Sh=0.99	U4=50.03
T=82.90	U8=0.025	Gs=232.5	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=49.99
T=82.83	U8=0.025	Gs=232.9	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=49.98
T=82.86	U8=0.025	Gs=232.7	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=49.98
T=82.95	U8=0.020	Gs=232.5	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=50.05
T=83.01	U8=0.015	Gs=232.5	Gt=72.3	Sh=0.98	U4=50.12
T=82.99	U8=0.017	Gs=232.5	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=50.09
T=82.92	U8=0.017	Gs=232.9	Gt=72.3	Sh=1.00	U4=50.09
T=83.05	U8=0.017	Gs=232.2	Gt=72.3	Sh=0.96	U4=50.09
T=83.03	U8=0.017	Gs=232.3	Gt=72.3	Sh=0.97	U4=50.09
T=83.04	U8=0.017	Gs=233.3	Gt=72.6	Sh=0.96	U4=50.28
T=84.79	U8=0.052	Gs=261.0	Gt=81.6	Sh=0.40	U4=56.84
T=84.90	U8=0.042	Gs=261.0	Gt=81.6	Sh=0.36	U4=56.99
T=84.69	U8=0.062	Gs=261.0	Gt=81.6	Sh=0.43	U4=56.70
T=84.55	U8=0.074	Gs=261.0	Gt=81.6	Sh=0.48	U4=56.52
T=84.37	U8=0.088	Gs=261.0	Gt=81.6	Sh=0.54	U4=56.30
T=84.15	U8=0.106	Gs=261.0	Gt=81.6	Sh=0.61	U4=56.04
T=83.88	U8=0.126	Gs=261.0	Gt=81.6	Sh=0.70	U4=55.73
T=83.54	U8=0.151	Gs=261.0	Gt=81.6	Sh=0.81	U4=55.36
T=83.10	U8=0.181	Gs=261.0	Gt=81.6	Sh=0.96	U4=54.92
T=82.54	U8=0.217	Gs=261.0	Gt=81.6	Sh=1.00	U4=54.42

Отсутствие штрафования обеспечивается величиной $S_h = 1$, так как штраф учитывается по формуле:

$$Z = Z * S_h \quad (15)$$

Если штраф включается, то величина S_h становится меньше 1, что побуждает алгоритм искать другое направление. Так, в журнале оптимизации, когда температура превысила величину 83°C можно наблюдать как поиск возвратился на границу $T < 83^\circ\text{C}$. В дальнейшем оптимизация осуществляется медленным продвижением вдоль границы ($T \approx 83^\circ\text{C}$), увеличивая выход продукта из 42 моль/час до 50 моль/час. В журнале показан вариант расчета оптимального режима при скачкообразном повышении подачи тетрахлорида титана. Резкое повышение температуры ($S_h = 0,4$) компенсируется за счет направления части потока питания, т.е. использования распределенного управляющего воздействия, на тарелку № 8 (с 5,2% до 21,7%), что позволяет установить температуру ($T = 82,54^\circ\text{C}$) при незначительном снижении выхода продукта ($U_4 = 54,42$).

Заключение. В результате оптимизации выход готового продукта, при неизменном объеме реактора-десорбера, удалось увеличить с 32 моль/час в базовом режиме к более чем 50 моль/час в оптимальном режиме.

Результаты оптимизации свидетельствуют о целесообразности оптимального управления исследуемым совмещенным процессом с распределенными дискретно-непрерывными управляющими воздействиями как путем перераспределения потоков тетрахлортитана и бутилового спирта подаваемых на различные тарелки, так и путем изменения тарелок их ввода в реактор-десорбер.

Список литературы

1. Серафимов Л.А., Писаренко Ю.А. Использование совмещенных реакционно-массообменных процессов в химической технологии // Химическая промышленность. - 2000. - №1. - с.34-39.
2. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии М.: Наука, 1976. – 500с.
3. Ажогин В.В., Згуровский М.З. Автоматизированное проектирование математического обеспечения АСУТП К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 335с.
4. Егоров А.И. Оптимальное управление тепловыми и диффузионными процессами. – М.: Наука, 1978. – 464с.
5. Жученко А.И. Математическое моделирование выпарных установок. – К.: / ВЦ Видавництво «Політехніка», 2004. – 144с.
6. Белоброва Е.В., Корсун В.И., Мысов О.П., Тришкин В.Я. Синтез компьютерной модели реакционно-десорбционного процесса.
Сообщение 1. Вывод уравнений математического описания процесса // Вопросы химии и химической технологии. – 2006. №4. – с.204-208.
7. Белоброва Е.В., Корсун В.И., Мысов О.П., Тришкин В.Я. Синтез компьютерной модели реакционно-десорбционного процесса.
Сообщение 2. Разработка моделирующего алгоритма. Идентификация модели // Вопросы химии и химической технологии. – 2007. №2. – с.223-226.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.
Надійшла до редакції 06.05.09*

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ «GRID» - МОЖЛИВОСТІ, РОЗВИТОК І ВИКОРИСТАННЯ

В статье рассматривается проблема применения информационной технологии GRID, выполнено описание возможностей, сервисов и служб.

В статті розглянуто проблему використання інформаційної технології GRID, здійснено опис можливостей, сервісів та служб.

The problem of application of information GRID - technology is examined in the article. Description of possibilities, services and services is executed.

Вступ. Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій в світі вийшов на якісно інший рівень, який характеризується значними об'ємами обчислень для об'єктів, що мають складну структуру. Досить часто, під час вирішення наукових та інженерних задач, що містять великий об'єм обчислень, бракує потужності електронної обчислювальної машини. Проблема використання віддалених обчислювальних ресурсів базується на протиріччі між початковою стратегією розвитку Інтернет – технологій, які спочатку були зорієнтовані переважно на забезпечення доступу до інформаційних ресурсів, а не до обчислювальних потужностей і бажанням використання потенціальної обчислювальної потужності існуючої мережевої інфраструктури на базі персональних комп'ютерів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання технологій розподіленого обчислення надає можливість уникнути цієї та багатьох інших проблем [1, 2, 4]. Як правило, роботи із застосуванням комп'ютерів виконуються у межах об'єднань базових комп'ютерних центрів корпорацій. Розвиток мережі Інтернет і поява електронних комерційних додатків (рис. 1) призвели до розуміння того факту, що ІТ – інфраструктура корпорації містить також і зовнішні мережі, ресурси і служби, через які зовнішнє середовище активно впливає на її інформаційні процеси всередині мережі. Спочатку вказаний феномен розглядався як аспект мережного середовища, внаслідок чого були зроблені спроби конструювання "інтелектуальних мереж", які перетинаються з традиційними корпоративними ІТ – центрами тільки у "кордонних серверах": наприклад, у Web-точці присутності корпорації, або у сервері приватної віртуальної мережі, що зв'язує мережу підприємства з ресурсами провайдера послуг. При цьому передбачалося, що таким чином набувається можливість контролювати і обмежувати вплив електронної комерції і Інтернету на базову ІТ – інфраструктуру корпорації.

Проте ці спроби виявилися невдалими, оскільки декомпозиція ІТ - служб має місце також і усередині ІТ - інфраструктури самого підприємства. Нові додатки розробляються таким чином, щоб уникнути прив'язку до певної платформи підтримуючи можливість його мобільного розповсюдження на безлічі інших платформ. Мобільність дозволяє обирати платформи, з урахуванням вимог ціна/продуктивність тощо, а не залежно від типу операційної системи платформи. Так, наприклад, додатки Web-обслуговування і кешування орієнтовані на використання звичайних серверів, а не традиційних великих комп'ютерних платформ (мейнфреймів).

Сучасний етап розвитку паралельних обчислень не повною мірою відповідає всьому спектру вимог, що висувуються до них науковими проблемами та інженерними задачами [1, 3]. Технології розподілення обчислювальних потужностей існуючих мережевих ресурсів пропонують рішення для розподілення обчислень й даних між багатьма інформаційними системами, протоколи й сервіси обміну даних. Вони спрямовані на масштабні додатки, що викликає підвищені вимоги до гнучкості запропонованого рішення. Однак в якості ресурсів, що є розподіленими можливо розглядати як доступ до комп'ютерів, програм та даних так й доступ до мережі організації або її сегменту. GRID є однією з технологій, що пропонує вирішення проблеми об'єднання в єдину мережу гетерогенних обчислювальних ресурсів, що можуть бути розташованими на різних платформах.

Цілі досліджень. Формування характерних ознак наукових задач, що можуть бути ефективно вирішені на основі технології GRID, враховуючи особливості формування глобальної комп'ютерної мережевої структури.

Основна частина. Стійке зростання кількості використання Unix і Windows серверів неминує спричиняє за собою створення великої кількості розподілених сполучних вузлів, через які можна успадковувати активні прикладні пакети і набори даних, що є на мейнфреймах (рис. 1). Збільшення навантаження на ці активи примушує компанії переносити виконання неістотних функцій (наприклад, обробку запитів) з центральних систем обробки транзакцій на сервери середнього рівня. Тим часом, використання Web-технологій для доступу до корпоративних ресурсів безупинно вимагає прискореного обслуговування запитів, що приводить до необхідності розподілу і виконання кешування на кордонних комп'ютерах мережі. Загальним підсумком є декомпозиція високо інтегрованої внутрішньої IT-інфраструктури у сукупність гетерогенних і фрагментованих систем. Паралельно з цими розробками, корпорації все більш енергійно залучаються до електронної комерції і усвідомлюючи, що для успішної діяльності підприємства в умовах швидкого і слабко прогнозованого розвитку необхідна високорозвинута IT-інфраструктура. Також розширюються сфери використання і масштаби програм по створенню систем управління виробництвом і ресурсами (ERP), прагнучи досягти більшої інтеграції з системами управління, взаємостосунками з клієнтами (CRM), управління інтегрованими ланцюжками поставок (SCM) і існуючими базовими системами. Такі розробки є активним чинником, що впливає на IT-інфраструктуру корпорації.

Одним з прикладів рішень такого класу є GRID – системи, які спочатку спрямовувались на вирішення складних наукових, виробничих і інженерних задач, що неможливо вирішити у прийнятні терміни на окремих обчислювальних установках. Сьогодні галузь використання не обмежується тільки вказаними типами задач. У міру свого розвитку Grid проникає до галузей науки, промисловості і бізнесу. Крупні підприємства з розгалуженою інфраструктурою створюють Grid для вирішення власних виробничих задач. Сьогодні Grid позиціонується як універсальна інфраструктура обробки даних, в якій функціонують служби (Grid Services), що дозволяють вирішувати не тільки конкретні прикладні задачі, але і пропонують сервісні послуги: пошук необхідних ресурсів, збір інформації про стан ресурсів, зберігання і доставка даних.

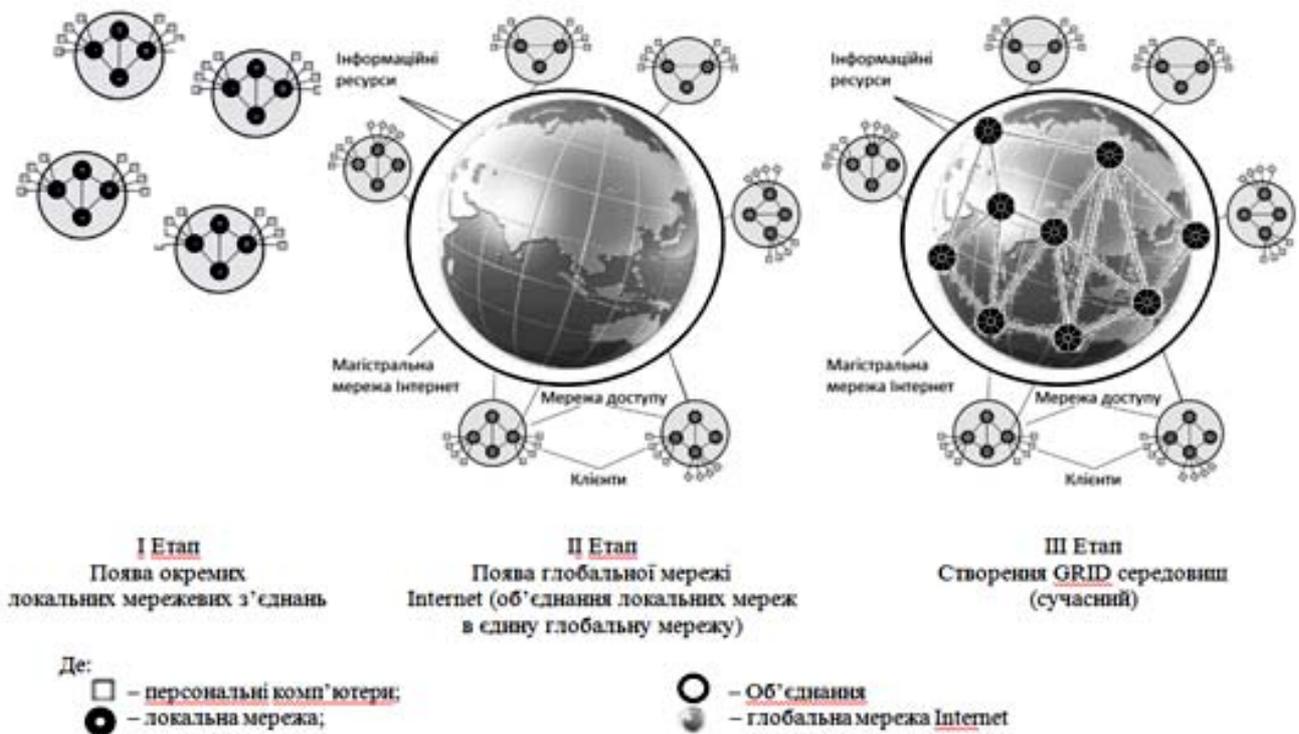


Рис. 1 Етапи розвитку мережевої GRID - структури

Grid-технології активно застосовуються як державними організаціями управління, освіти, оборони, сфери комунальних послуг, так і приватними компаніями. Галузь використання Grid охоплює ядерну фізику, захист навколишнього середовища, прогноз погоди і моделювання кліматичних змін, чисельне моделювання в машино - і авіабудуванні, біологічне моделювання, фармацевтику [3].

Розглянемо Grid - інфраструктуру, як розширюваний та масштабований набір Grid-служб, що об'єднані різними способами для задоволення різних потреб. Сумістивши технології Grid з технологіями Web-служб отримаємо широкий спектр нових можливостей, а саме автоматичну генерацію програмних частин на сторонах клієнта і серверу на основі описів служб; скріплення описів служб з мережними протоколами; сумісність з відкритими високорівневими стандартами, та підтримкою відкритою архітектурою Grid-служб (Open Grid Services Architecture - OGSA). При цьому термін «архітектура» вказує на цілком певний набір основних інтерфейсів, за допомогою яких конструюють системи із заданими властивостями, а термін «відкрита», використаний для позначення розширюваності, нейтральності по відношенню до виробників і обов'язкового представлення для суспільного процесу стандартизації.

Забезпечення самоопису, можливостей виявлення служб і інтероперабельності протоколів цією архітектурою, використовують мову опису Web-служб (Web Services Description Language - WSDL), розширену конструкціями для підтримки безлічі злагоджених інтерфейсів і управління змінами. OGSA враховує досвід, придбаний практикою використання інструментального комплексу Globus, що дозволяє описувати угоди і WSDL-інтерфейси для Grid-служби, по-

вну інформацію про поточний стан (потенційно тимчасового) екземпляра служби. Це надає можливість: надійної і безпечної активізації процесів, управління часом життя служби, розсилки повідомлень, управління політикою, управління сертифікатами і віртуалізації. Крім того, OGSA визначає інтерфейси для виявлення екземплярів Grid-служб і для створення тимчасових екземплярів Grid-служб. Результатом такого підходу є розподілена система стандартизованих служб, яка підтримує розробку складних розподілених служб, необхідних в сучасних компаніях і об'єднаннях комп'ютеризованих організацій. В умовах наукового середовища необхідне забезпечення можливості «безшовної інтеграції» з існуючими ресурсами і додатками, а також засобами управління робочим навантаженням, ресурсами, безпекою, якістю обслуговування у мережі і доступом. Підтримка, що забезпечує OGSA для виявлення властивостей служб, полегшує відображення або адаптацію високорівневих функцій Grid-служб до апаратно-програмних засобів локальних платформ. Служби OGSA є орієнтованими на надання можливості багаторівневої віртуалізації ресурсів таким чином, що одні і ті ж абстракції і механізми можуть бути використані як усередині розподілених Grid-конфігурацій, що підтримують взаємодію між організаційними доменами, так і усередині виконавчого апаратно-програмного середовища, що охоплює багато рівнів в окремому інформаційно-технологічному домені. Універсальна інфраструктура враховує, що відмінності (наприклад, пов'язані з видимістю і доступністю) виникають з політик управління, які стосуються питань володіння ресурсами, конфіденційності і безпеки, а не з механізмів взаємодії. Оскільки спостерігається тенденція трансформування корпоративних систем з окремих «островів» комп'ютерних ресурсів до інтегрованих, багаторівневих і розподілених систем, компоненти служб повинні об'єднуватися динамічно і гнучко як всередині, так зовні меж різних організацій.

Використання Grid надає нову якість рішення таких класів задач:

- масова обробка потоків даних великого об'єму;
- багатопараметричний аналіз даних;
- моделювання на видалених суперкомп'ютерах;
- візуалізація великих наборів даних у реальному часі;
- складні бізнес-додатки з великими об'ємами обчислень.

Grid-технології підтримують розділення і злагоджене використання різноманітних ресурсів у динамічних системах – тобто створення з географічно і організаційно розподілених компонент таких віртуальних комп'ютерних систем, що можуть забезпечувати бажану якість обслуговування (QoS). Концепції і технології Grid спочатку розроблялися для забезпечення можливості розділення ресурсів усередині розподілених по всьому світу об'єднань науково-дослідних колективів. При цьому додатки включали сумісну візуалізацію великих наборів наукових даних (об'єднання досвіду), розподілений комп'ютинг для проведення обчислень пов'язаних з аналізом даних (об'єднання комп'ютерних потужностей і систем зберігання) та комплексну реалізацію підтримуючи широкий спектр важливих наукових проектів з використанням обчислювальної техніки.

Проте прийнята сьогодні парадигма забезпечення належного QoS для додатків шляхом вертикальної інтеграції специфічних компонент платформи і служб виявляється несприйнятною для сучасного розподіленого середовища обробки даних: декомпозиція монолітної IT-інфраструктури не узгоджується з наданням необхідного QoS через механізми вертикальної інтеграції служб на даній платформі. При цьому, будучи обмеженими засобами локальних систем, можливості управління розподіленими ресурсами виявляються не ефективними, виникає проблема доступу до ресурсів платформи і неузгодженість між подібними ресурсами у розподіленому середовищі.

Наслідок перелічених тенденцій виявляється у тому, що інтегратори IT систем вимушені наново інтегрувати розподілені комп'ютерні ресурси з урахуванням належної якості обслуговування. Однак, без відповідної інструментальної інфраструктури управління робочим потоком розподіленого комп'ютинга стає все більш напруженим, складним і уразливим, оскільки персонал, який підтримує специфічні для платформи можливості, повинен відстежувати всі "атаки", що зменшує доступність і продуктивність системи, а також координувати з колегами внесення коректив на різних платформах. Перед змінами, що мають місце у середовищі комп'ютинга і пакетах додатків, такий підхід до реінтеграції не забезпечує можливості для масштабування, досягнення ефективної вартості IT-інфраструктури і належної надійності.

Віртуальна організація є орієнтованою на вирішення однієї конкретної задачі, і може створюватися динамічно і мати обмежений час існування. У світі визнано [4, 5] найактуальнішим способом створення могутніх багатопроесорних комплексів масову кластеризацію комп'ютерів, у тому числі ПК, що випускаються, за допомогою серійного телекомунікаційного устаткування локальних мереж (або більш високопродуктивних з'єднань типа Myrinet).

Кластер - слабо інтегрована архітектура, як на рівні апаратури, так і на рівні операційної системи (ОС) [1]. Зокрема, через відсутність загальної пам'яті на кожний процесорний вузол повинна бути встановлена своя копія ОС, тому для роботи з кластерними комплексами потрібно розв'язати проблеми обслуговування і управління, які при числі процесорів 64-128 стають критичними. Інфраструктура GRID заснована на наданні ресурсів в загальне користування, з одного боку, і на використанні публічно доступних ресурсів, з іншою. У цьому плані ключове поняття інфраструктури GRID - віртуальна організація, в якій кооперуються як споживачі, так і власники ресурсів. Мотиви кооперації можуть бути різними. В існуючих GRID-системах віртуальна організація є об'єднанням фахівців з деякої прикладної області, які об'єднуються для досягнення загальної мети. GRID-система є середовищем колективних обчислень, в якому кожен ресурс має власника, а доступ до ресурсів відкритий у режимі, що розділяється за часом і по простору, для великої кількості користувачів. Таким чином, можна визначити, що GRID – це розподілене середовище функціонування якого забезпечується спеціальним програмним забезпеченням у вигляді сервісів. Йому властиве просторові розподілення операційного середовища, у якому здійснюється гнучке і скоординоване розподілення ресурсів для виконання розрахункових додатків у межах певних віртуальних організацій. Сьогодні IBM предста-

вила нову серію Grid-рішень, розгорнутих європейськими замовниками корпорації з державного і приватного секторів, що підтверджує перетворення Grid-обчислень на масову технологію.

Висновки.

1. Grid-концепції найбільш ефективні у бізнес-комп'ютингу переважно не як засоби удосконалення існуючих ресурсів та можливостей, а як інструмент для розв'язання нових проблем, пов'язаних з конструюванням надійних, масштабованих і захищених розподілених систем.

2. Технологічний і технічний розвиток інформаційно-комунікаційних систем, їх комерційна складова, зумовлюють тенденцією до декомпозиції і розподілу по мережі раніше монолітних, зосереджених на окремих хостах служб.

Список літератури

1. Петренко А.І. Вступ до GRID – технології в науці та освіті: навч. посіб. /А.І. Петренко. – К.: НТУУ «КПІ», 2008.
2. В.А. Myers, М.В. Rosson, Survey on User Interface Programming. Proc. SIGCHI Conf. Human Factors in Computing Systems, ACM Press, 1992.
- 3.М. Lenzerini, Data Integration: A Theoretical Perspective. Proc. 21st ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART Symp. Principles Database Systems, ACM Press, 2002.
- 4.А. Halevy et al., Enterprise Information Integration: Successes, Challenges and Controversies. Proc. 2005 ACM SIGMOD Intl Conf. Management Data, ACM Press, 2005.
5. G. Alonso et al., Web Services: Concepts, Architectures, and Applications. Springer, 2004.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачевим В.В.
Надійшла до редакції 26.05.09*

УДК 004.78:371.26(045)

© В.М. Синєглазов, С.П. Борсук

ОЦІНЮВАННЯ УСПІШНОСТІ СЛУХАЧА ТА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ НАВЧАННЯ

У статті проведено аналіз статистичної інформації, отриманої автоматизованою системою навчання під час роботи. Запропоновано блок-схему алгоритму аналізу, результати зведено у таблицю.

В статье рассмотрен анализ статистической информации, которую получила автоматизированная система обучения во время работы. Предложена блок-схема алгоритма анализа, результаты сведены в таблицу.

The analysis of the statistic information received by the automated educational system is observed in the article. The block-scheme of the analysis algorithm is proposed, all results are built in the table.

Вступ. Автоматизовані системи навчання дозволяють полегшити роботу викладача. Належним чином створена та запрограмована система навчання здатна надати слухачу потрібні знання та перевірити їх засвоєння за допомогою різноманітних контрольних завдань без втручання викладача у цей процес, або з його мінімальним втручанням. Проте системи навчання частіше за все не ви-

користують той великий обсяг статистичної інформації, який міг би слугувати при оцінюванні знань слухача, обмежуючись лише одноразовими окремими оцінками за виконання контрольних вправ. Ця інформація певним чином оброблена та проаналізована може допомогти зробити корисні висновки як про рівень знань слухачів, так і про роботу самої системи.

Аналіз літератури. Були розглянуті роботи, присвячені критеріям оцінки рівня знань студентів [1, 2], критеріям оцінки систем навчання [3], а також статистичному аналізу результатів навчання [4]. У вищезазначених роботах було розглянуто автоматизацію оцінювання знань студента, методи представлення знань, оцінювання знань учня. Проте відсутні спроби проаналізувати роботу самої систему з огляду на статистичну інформацію, та немає спроби проведення аналізу цієї статистичної інформації.

Цілі дослідження. Цілями даного дослідження є:

- проведення аналізу статистичної інформації, отриманої автоматизованою системою навчання;
- створення блок-схеми алгоритму аналізу та зведення результатів аналізу у таблицю;
- розгорнутий опис табличних даних, та даних отриманих під час проведення аналізу.

Матеріали дослідження. Розглянемо автоматизовану систему навчання, у якій існує наступна ієрархія учбового матеріалу: учбовий матеріал поділено на глави, кожен главу поділено на розділи. Контроль знань проводиться після кожного розділу у вигляді контрольних вправ. Найпростіші висновки можна запрограмувати у системі, яка не слідкує за часом, що користувач витратив на вивчення теоретичного матеріалу розділів та глави, та використовує лише інформацію про виконання ним контрольних вправ. Розглянемо таку систему після виконання певною групою слухачів контрольних вправ окремого розділу.

Отримавши m_{ab} балів за результатами виконання контрольних завдань b -го розділу слухачем a , система відразу може перевірити – чи належить отриманий результат до певного діапазону, за яким визначається кінцева оцінка. Для глави C можна побудувати наступну матрицю розмірністю $(a \times b)$:

$$C^m = \begin{array}{c|cccc} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \dots & m_{1b} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & \dots & m_{2b} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & \dots & m_{3b} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{a1} & m_{a2} & m_{a3} & \dots & m_{ab} \end{array}$$

У стовпцях тут представлені оцінки, отримані слухачами за виконання контрольних вправ певного розділу. У рядках записані оцінки, отримані певним слухачем за виконання контрольних вправ до всіх розділів у главі. Маючи діапазон можливих оцінок від $m_{\min} = 0$ балів до $m_{\max} = 100$ балів у розділі знайдемо середнє значення у стовпцях для розділу b

$$M_b = \frac{\sum_{n=1,a} m_{nb}}{a}.$$

Тут значення M_b визначає середню оцінку, отриману слухачами за виконання контрольних вправ розділу b . Нехай існують два пороги оцінювання m_1 та m_2 такі, що $1 > m_1 > m_2 > 0$, за допомогою яких можливо буде розділити слухачів на три підгрупи. В першу підгрупу увійдуть ті слухачі, чия оцінка перевищує m_1 . В другу підгрупу увійдуть ті слухачі, чия оцінка лежить між m_1 та m_2 . В третю підгрупу увійдуть ті слухачі, чия оцінка менша за m_2 . Перша група включає в себе слухачів, які виконали контрольні завдання добре. Друга група включає в себе слухачів, які виконали контрольні завдання недостатньо добре для входження в першу групу, але все ж таки достатньо, щоб вважати їх знання суттєвими. Третя підгрупа включає в себе слухачів, чий знання розцінені як недостатні, та котрим рекомендовано вивчити теоретичний матеріал ще раз та перевірити свої знання повторно.

Не включаючи до аналізу додаткових параметрів можна визначити наступне:

- якщо значення $M_b > m_1$, то можна з впевненістю сказати, що більша частина слухачів вивчила теоретичний матеріал розділу добре. Окрім того провівши додаткову перевірку, чи $\forall m_{xb} > m_1$ при $x=1, a$ можна визначити, що такий розділ є недостатньо навантаженим для слухачів. В такому разі система може відсилати відповідне повідомлення для керівника навчанням, або автоматично по заздалегідь визначеним правилам реформувати матеріали розділу.

- якщо значення $m_1 > M_b > m_2$ то учбовий матеріал скоріш за все збалансований, та його зміни не потрібні.

- якщо значення $M_b < m_2$, то можна з впевненістю сказати, що більша частина слухачів не вивчила теоретичний матеріал розділу на рівні, що вважається достатнім. Окрім того провівши додаткову перевірку, чи $\forall m_{xb} < m_2$ при $x=1, a$ стає зрозумілим, що жоден слухач не зміг опанувати теоретичний матеріал в обсязі, достатньому для зарахування оцінки. В такому разі система може відсилати відповідне повідомлення для керівника навчанням, або автоматично по заздалегідь визначеним правилам реформувати матеріали розділу.

Тепер знайдемо середнє значення у рядках для слухача a

$$M_a = \frac{\sum_{n=1,b} m_{an}}{a}.$$

Тут значення M_a визначає середню оцінку, отриману слухачем за виконання контрольних вправ усіх розділів. Залишимо пороги оцінювання m_1 та m_2 такі, що $1 > m_1 > m_2 > 0$.

Не включаючи до аналізу додаткових параметрів можна визначити наступне:

- якщо значення $M_a > m_1$ то очевидно, що слухач якісно засвоює теоретичні матеріали, та уміє застосовувати свої знання при вирішенні практичних завдань. При цьому, якщо виконується умова $m_{ax} < m_2$ це значить тільки те, що слухач або недостатньо опанував теоретичні матеріали розділу x , або не був

спроможний правильно застосувати їх під час виконання практичних завдань, за що отримав відповідну оцінку.

- якщо значення $m_1 > M_a > m_2$, то слухач в середньому засвоїв певний обсяг теоретичних знань, достатній для того, щоб вважати його суттєвим.

- якщо значення $M_a < m_2$, то очевидно, що рівень підготовки слухача дуже низький. При цьому виконання умови $m_{ax} > m_1$ означає, що слухач або опанував матеріали розділу x , або у якийсь спосіб користувався ними під час виконання контрольних завдань.

Усі висновки, які були представлені до сих пір впливають з розгляду лише одного параметра. Спробуємо проаналізувати сукупність обох параметрів одночасно.

Розглянемо випадок, коли значення $M_a > m_1$. З першого погляду очевидна якісна робота слухача a із теоретичними матеріалами внаслідок чого він постійно отримує гарні оцінки. При цьому, якщо виконується умова $m_{ax} < m_2$ це означає його особисту погану підготовку до контрольних завдань розділу x . Проте перевіривши значення M_b для розділу x можна скорегувати попередній висновок:

- при значенні $M_x > m_1$, або $m_1 > M_x > m_2$ висновки щодо роботи слухача із теоретичними матеріалами залишаються незмінними;

- при значенні $M_x < m_2$ виникає ситуація, коли більша частина слухачів нездатна засвоїти учбову інформацію розділу x на достатньому рівні. Якщо при цьому також справедливе твердження $\forall m_{nx} < m_2$ при $n=1, a$ стає зрозумілим, що розділ має бути реформовано, а оцінки, отримані за виконання контрольних вправ після розділу можуть бути проігноровані.

Так само можна розглянути ситуацію, коли $M_a < m_2$. В даному випадку слухач не опанував теоретичні матеріали більшості розділів та йому рекомендовано їх повторити. Якщо ж виконується умова $m_{ax} > m_1$, то це або виключення, або слухач користувався певною допомогою під час виконання контрольних вправ до розділу x . Перевіримо значення M_b для розділу x :

- у випадку, коли $m_1 > M_x > m_2$, висновки щодо роботи слухача із теоретичними матеріалами залишаються незмінними;

- у випадку, коли $M_x > m_1$, більшість слухачів змогла виконати контрольні вправи до розділу x успішно. Якщо при цьому $\forall m_{nx} > m_1$ при $n=1, a$ очевидно, що контрольні вправи до розділу занадто легкі, або теоретичний матеріал розділу недостатньо складний та може бути збільшений.

Блок-схема алгоритму процес аналізу без врахування додаткових параметрів показано на рисунку 1.

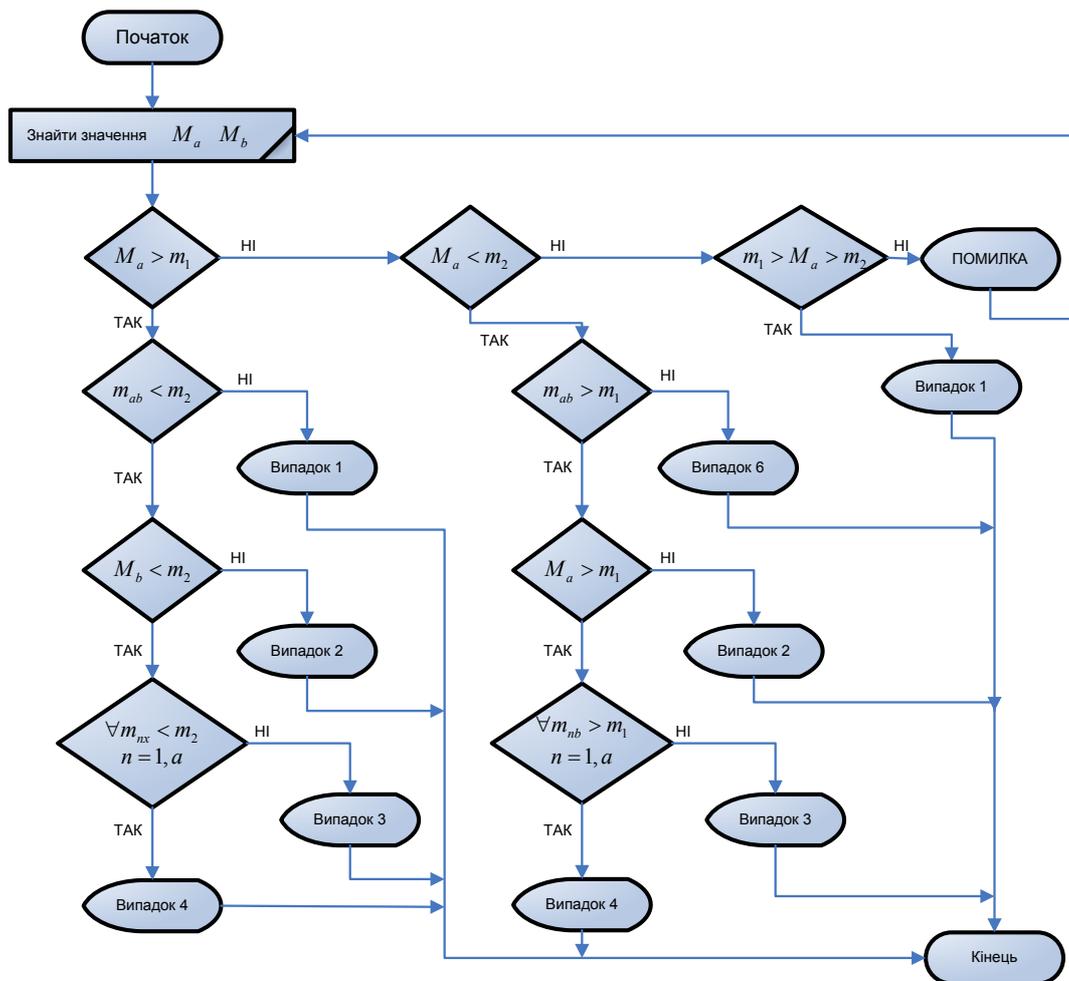


Рис. 1. Алгоритм визначення певного випадку

Для більш зручного сприйняття структури можливих випадків побудуємо таблицю результатів виконання зазначених умов. Можливі збіжні випадки згрупуємо.

Таблиця 1

Таблиця можливих випадків

№	Умови:	Випадок:
1	$M_a > m_1, m_{ab} > m_2$	1
2	$M_a > m_1, m_{ab} < m_2$	2
3	$M_a > m_1, m_{ab} < m_2, M_b < m_2$	3
4	$M_a > m_1, m_{ab} < m_2, M_b < m_2, \forall m_{nb} < m_2, n = 1, a$	4
5	$m_1 > M_a > m_2$	5
6	$M_a < m_2, m_{ab} > m_1, M_a > m_1, \forall m_{nb} > m_1, n = 1, a$	4
7	$M_a < m_2, m_{ab} > m_1, M_a > m_1$	3
8	$M_a < m_2, m_{ab} > m_1$	2
9	$M_a < m_2, m_{ab} < m_1$	6

Роздивимось можливі випадки, вказані у таблиці 1.

Випадки 1 та 6 найпростіші, та не потребують подальшого дослідження. В них визнається, що слухач опанував матеріали розділу, та виконав контрольні вправи у випадку 1, або відповідно не зміг опанувати теорію на достатньому рівні, або виконати контрольні вправи у випадку 6.

Випадок 5 не дає нам інформації для подальшого дослідження роботи системи, або рівня знань слухача без введення додаткових параметрів. З огляду на середню оцінку слухача можна зробити висновок, що він опрацював теоретичні та практичні матеріали розділу на достатньому рівні.

Випадок 2 свідчить про незвичайну підготовку слухача до розділу *b* в обох випадках. Подальша перевірка інших параметрів викликана саме тим, що показник для розділу *b* суттєво відрізняється від показників для інших розділів.

Випадок 3 дозволяє стверджувати, що рівень підготовки слухача до розділу *b* не так сильно залежить від самого слухача, як від теоретичного матеріалу розділу, або практичних завдань до нього.

Випадок 4 остаточно вказує на системні помилки при формуванні теоретичних або практичних матеріалів розділу *b*. У цьому випадку система повинна обов'язково реформувати ці матеріали самостійно, або надіслати повідомлення до керівника навчального процесу.

Висновки.

Як можна бачити, статистична інформація, яку здатна зібрати автоматизована система навчання може бути дуже корисною не тільки при її прямому використанні. Після належної обробки інформації про отримані користувачами оцінки стає можливим більш глибоко оцінити їх знання, зробити певні висновки про уміння та роботу користувачів у системі, та навіть оцінити саму систему навчання.

Доцільним слід вважати подальші дослідження у напрямку такого використання статистичної інформації, зокрема розглянувши віще зазначені параметри із додаванням інформації про час вивчення теоретичного матеріалу; час, який витрачено на виконання контрольних вправ; розглянути висновки по суміжних главах та розділах; описати можливі правила реформування розділів, глав, або навіть суцільного учбового матеріалу.

Список літератури.

1. Яковенко О.Є. Моделі та методи контролю знань в автоматизованій системі управління навчальним процесом. Автореф. дис... канд. техн. наук. - Одеса, 2006. - 19 с.
2. Сирота С.В. Моделі і засоби створення інтелектуальних компонентів навчальних систем. Автореф. дис... канд. техн. наук. - Київ, 2006. - 30 с.
3. Бойкова В.О. Моделі і методи створення інформаційних технологій навчання. Автореф. дис... канд. техн. наук. - Херсон, 2001. - 15 с.
4. Стариченко Б.Е., Шуняева Н.В. Накапливаемая отметка как метод педагогической статистики //Педагогическая информатика. Научно-методический журнал. - М.: Московский государственный открытый педагогический университет им. М.А. Шолохова.- 2001.- N1. - 75 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесарєвим В.В.
Надійшла до редакції 15.05.09*

Л.И. Мещеряков, Ясир Юсеф Хуссейн Аль Хатиб, В.В. Прошниченко

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ БАРАБАНЫХ МЕЛЬНИЦ

Представлено програмне забезпечення реалізації інтелектуальної ідентифікації оперативного стану барабаних млинів.

Представлено программное обеспечение реализации интеллектуальной идентификации оперативных состояний барабанных мельниц.

The realization software is presented of intellectual authentication of operative states of drum mills.

Важнейшей задачей современной теории и практики управления является построение модели объекта управления. Одним из эффективных методов построения модели сложного объекта автоматизации является идентификация. Задача получения моделей особенно остро стоит для большого числа объектов, для которых разрабатываются системы управления при очень скудной информации. Именно к таким типам объектов относятся горные электромеханические комплексы и в частности барабанные мельницы.

В силу сложного взаимодействия технологических и технических параметров с огромным множеством горно-геологических характеристик определение оперативного состояния барабанных мельниц вызывает значительные трудности. Разработано и используется целый ряд методов определения этого состояния. Однако существующие требования к постоянному увеличению эффективности технологического процесса измельчения в барабанных мельницах оставляет данную задачу крайне актуальной.

Методы интеллектуальной идентификации показали высокую достоверность при определении оперативных состояний различных объектов управления, что вызывает целесообразность их применения и к барабанным мельницам. Для реализации математического аппарата технологий интеллектуальной идентификации, используемой в данной случае был разработан специальный программный продукт в виде экспертной системы.

Приложение «Экспертная система интеллектуальной идентификации состояния барабанных мельниц» использует в своей структуре следующие основные функции и процедуры:

procedure CreateFormParam(VT: TVirtualStringTree) – инициализации дерева параметров;

procedure CreateFormPolom(VT: TVirtualStringTree) – инициализация дерева отказов;

procedure VTLoadNodeParam(Sender: TBaseVirtualTree; Node: PVirtualNode; Stream: TStream) – загрузка дерева параметров;

procedure VTLoadNodePolom(Sender: TBaseVirtualTree; Node: PVirtualNode; Stream: TStream) – загрузка дерева отказов;

procedure VTGetTextParam(Sender: TBaseVirtualTree; Node: PVirtualNode; Column: TColumnIndex; TextType: TVSTTextType; var CellText: WideString) – получение значений в дерево параметров;
 procedure VTGetTextPolom(Sender: TBaseVirtualTree; Node: PVirtualNode; Column: TColumnIndex; TextType: TVSTTextType; var CellText: WideString) – получение значений в дерево отказов;
 procedure VTSaveNodeParam(Sender: TBaseVirtualTree; Node: PVirtualNode; Stream: TStream) – сохранение дерева параметров;
 procedure VTSaveNodePolom (Sender: TBaseVirtualTree; Node: PVirtualNode; Stream: TStream) – сохранение дерева отказов;
 Function RandomMas(p_on, p_off: real; i: integer):real – создание случайного значения показания счетчика, для приближения к реальному значению используется синусоидальное преобразование;
 procedure SGCreate (SG: TStringGrid; VT1, VT2: TVirtualStringTree) – создание таблицы нечетких логических уравнений;
 procedure perebor_vivod(b: boolean; j:integer; var Node: PVirtualNode; i: integer) – форматирование вывода;
 procedure LoadGrid(stringgrid: Tstringgrid) – загрузка таблицы;
 procedure Func_Prinadlegnosti(x,p_on, p_off: real; var u,n,ns,s,vs,v: real) – процедура просчета функции принадлежности;
 procedure PoiskParam (VT:TVirtualStringTree; Node: PVirtualNode; var bo: boolean; var res:PVirtualNode; const st: WideString) – выполнение поиска по дереву параметров.

Таблица значений переменных системы

Переменная	Тип	Значение
TData	record	Запись диапазона значения показаний датчиков
PData	^TData	Указатель
TFault	record	Запись параметров отказов
PFault	^TFault	Указатель
i,j,k,p	integer	Счетчики
R,c	integer	Индексы колонок и столбцов
St, st1, st2	String	Вспомогательные строки

Основное окно пользовательского интерфейса программы имеет меню, несколько вкладок и кнопки Старт и Стоп. На первой вкладке «Деревья логического вывода» представляются формируемые два дерева: дерево параметров и дерево отказов (рис. 1). На второй вкладке «Нечеткие логические уравнения» (рис. 2) выводится таблица создания системы логические уравнения. При этом в первых строках таблицы отображаются параметры, информационные характеристики которых по сигналам датчиков используются в системе, а в первой колонке названия возможных отказов в структуре барабанной мельницы.

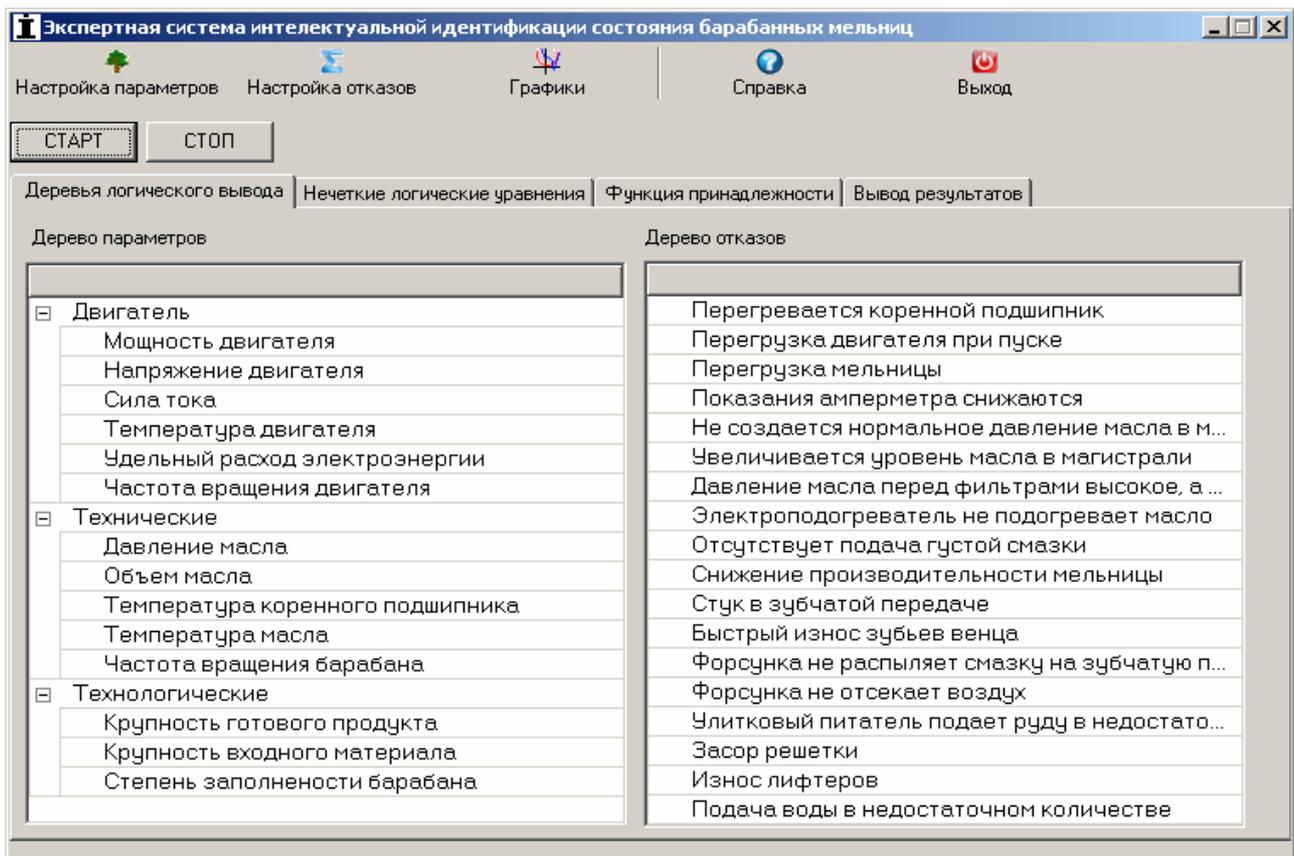


Рис. 1. Главная форма экспертной системы интеллектуальной идентификации оперативного состояния барабанных мельниц

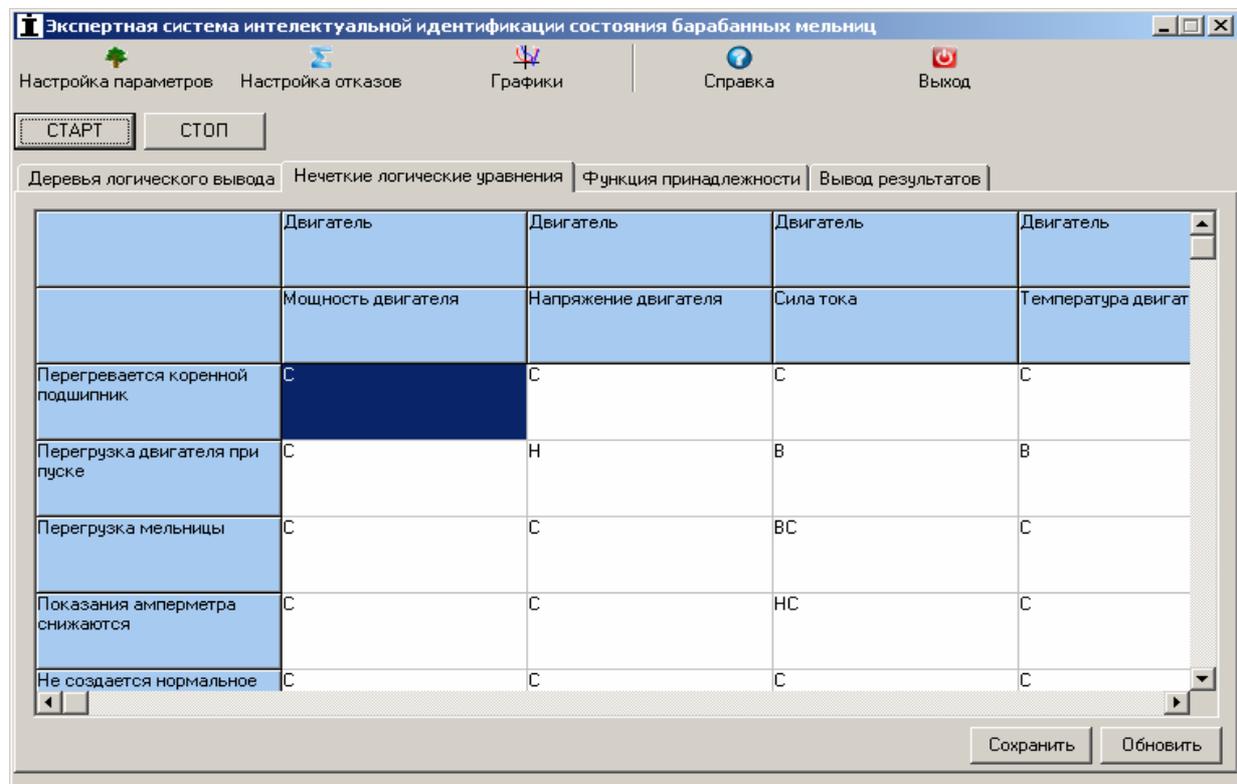


Рис. 2. Вид главной формы экспертной системы интеллектуальной идентификации барабанных мельниц при формировании нечетких логических уравнений

Для оценки значений лингвистических переменных в разработанной программе используется стандартная шкала качественных термов интеллектуальных технологий идентификации: Н – низкий, нС – ниже среднего, С – средний, вС – выше среднего, В – высокий (рис. 2).

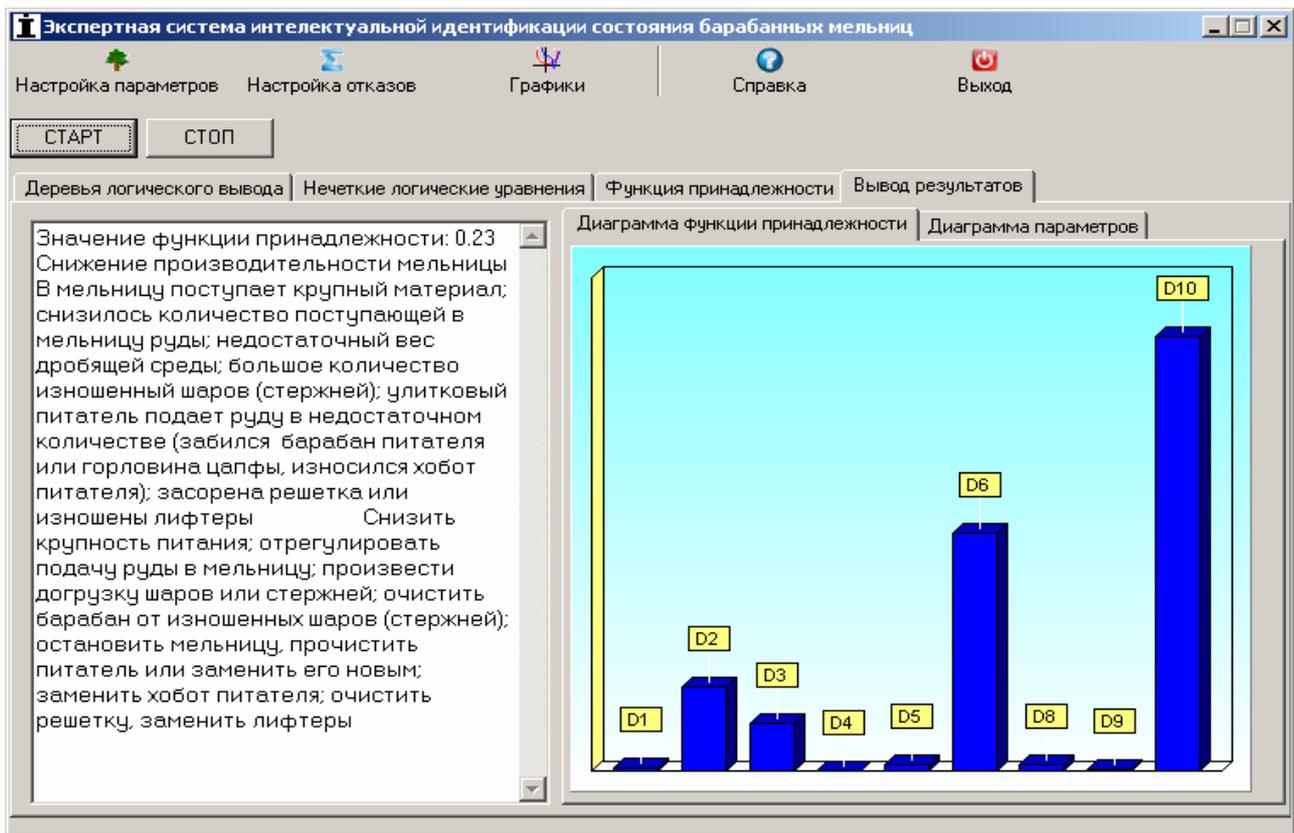
Установка значений в ячейки таблицы формирования нечетких логических уравнений знаний эксперта (рис. 2) производится с помощью контекстного меню. В результате формируется нечеткая база знаний, где соответственно интеллектуальным технологиям идентификации по параметрам определяются лингвистические переменные. Так же на этой вкладке в правом нижнем углу имеются кнопки: «Сохранить» и «Обновить». Кнопка «Сохранить» обеспечивает сохранение в файл всех изменений в таблице при редактировании формул. Кнопка «Обновить» выполняет обновление модифицированных таблиц.

Следующая вкладка «Функция принадлежности» (рис. 3) позволяет увидеть вычисленные значения функции принадлежности для каждого из параметров используемых сигналов. Даная таблица обновляется при каждом новом изменении входных значений параметров.

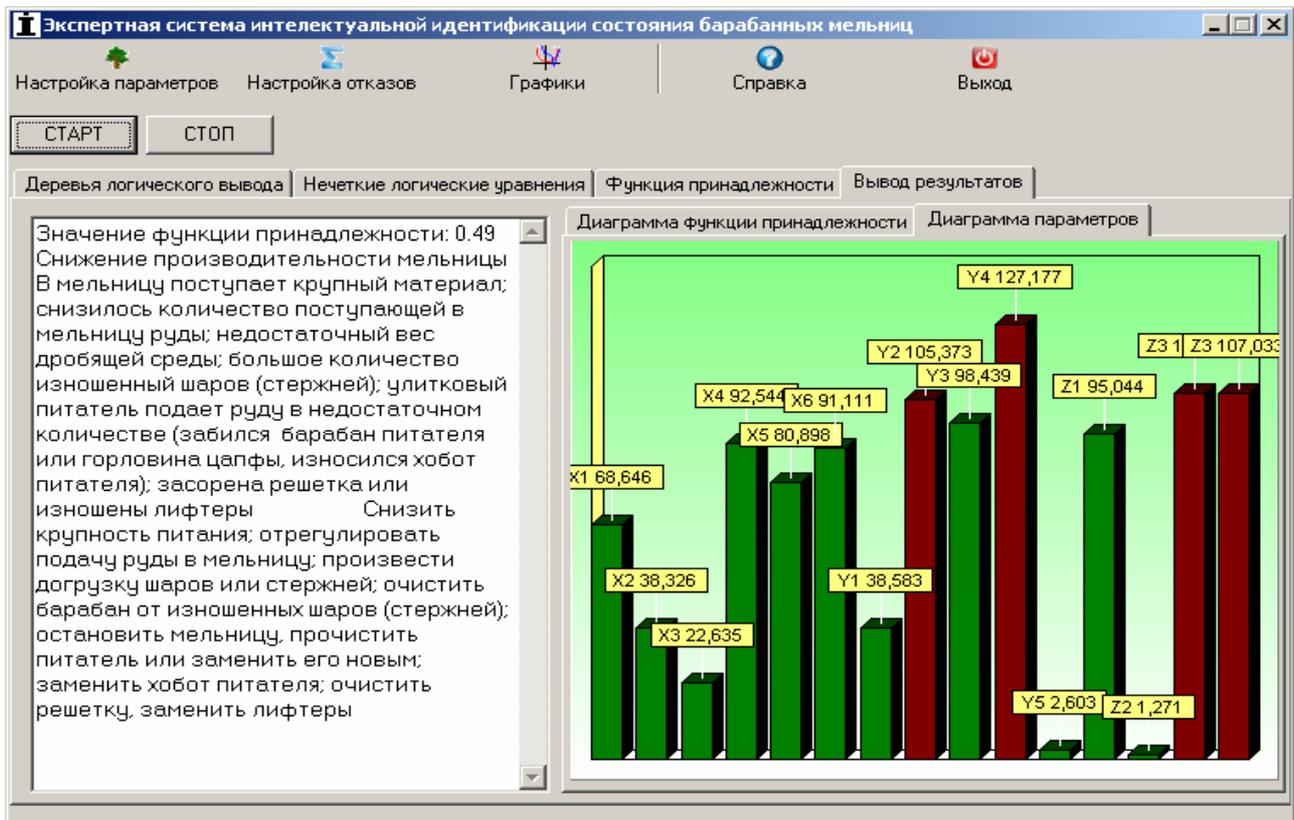
№	X-Y-Z	U	M(H)	M(HC)	M(C)	M(BC)	M(B)
1	X1	4.54001	0.03969	0.06365	0.11665	0.26428	0.74499
2	X2	4.38486	0.04243	0.06921	0.13027	0.30758	0.85189
3	X3	3.17366	0.07799	0.15277	0.38213	0.96581	0.55509
4	X4	4.60276	0.03866	0.06159	0.11171	0.24905	0.70104
5	X5	3.25054	0.07461	0.14398	0.35265	0.93138	0.60266
6	X6	3.28506	0.07317	0.14027	0.34032	0.91293	0.62501
7	Y1	5.11405	0.03155	0.04792	0.08076	0.16010	0.40703
8	Y2	4.70389	0.03708	0.05847	0.10437	0.22687	0.63228
9	Y3	3.90814	0.05283	0.09151	0.18962	0.50812	0.99019
10	Y4	4.71235	0.03695	0.05822	0.10378	0.22514	0.62671
11	Y5	3.04519	0.08414	0.16921	0.43816	0.99761	0.48306
12	Z1	4.60953	0.03855	0.06138	0.11120	0.24747	0.69633
13	Z2	4.35448	0.04300	0.07038	0.13321	0.31711	0.87146
14	Z3	4.97143	0.03332	0.05125	0.08800	0.17979	0.47445

Рис. 3. Форма экспертной системы интеллектуальной идентификации состояния барабанных мельниц формирования функций принадлежности

Последняя вкладка «Вывод результатов» является более сложной по своей структуре. Она содержит текстовое поле в которое после начала работы выводится информация об идентифицированном типе отказа и две вкладки. Вкладка «Диаграмма функции принадлежности» явно показывает вычисленное значение функции принадлежности для данного состояния барабанной мельницы (рис.4).



а



б

Рис. 4. Вид главной формы экспертной системы интеллектуальной идентификации состояния барабанных мельниц при выводе результатов

Вкладка «**Диаграмма параметров**» отображает общую диаграмму уровня параметров. При этом зеленый цвет столбца соответствует нормальному рабочему режиму, красный – ниже нормального, бордовый – выше нормального. Запуск программы осуществляется при нажатии кнопки «**Старт**», а при активации кнопки «**Стоп**» выполняется останов.

Пункт главного меню «**Настройка параметров**» позволяет добавить или удалить используемые параметры и счетчики, а так же установить эталонные верхнюю и нижнюю границы показаний датчиков для нормального режима работы. Двойной щелчок по строке позволяет изменить уже внесенные данные.

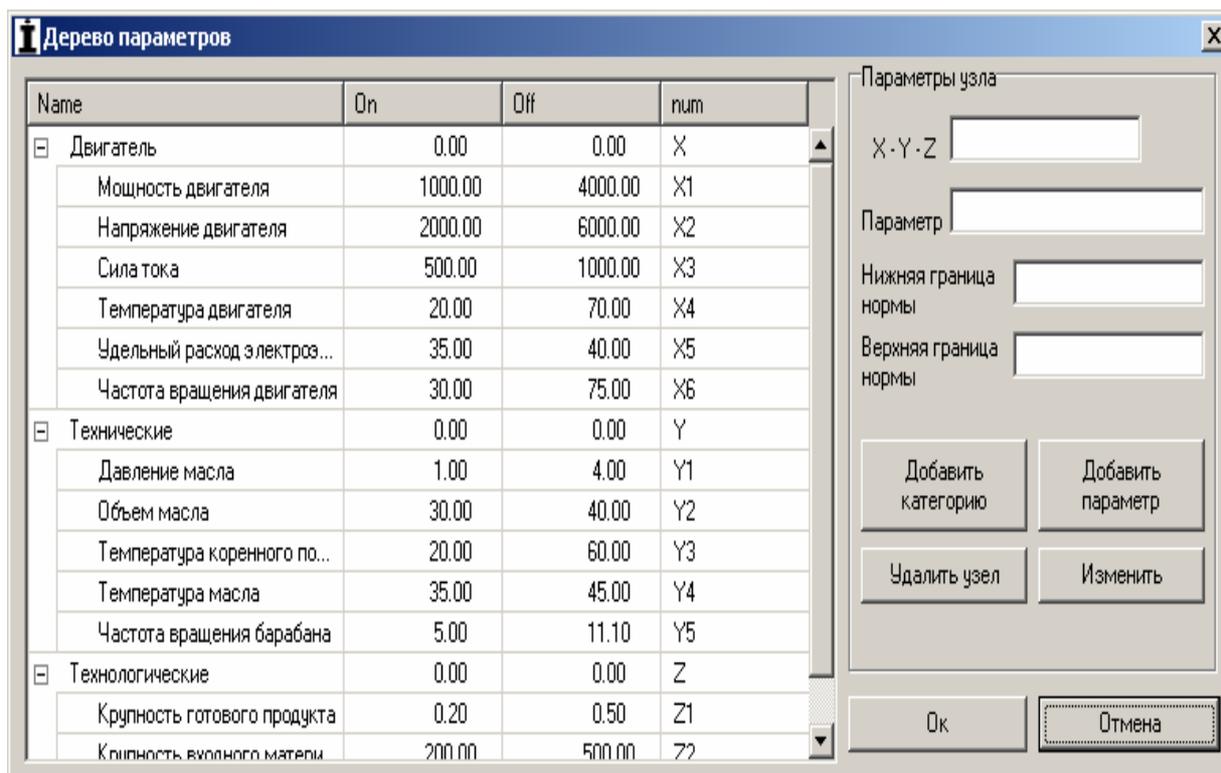


Рис. 5. Форма диалогового окна представления дерева параметров

Пункт главного меню «**Настройка отказов**» позволят ввести названия типов возможных отказов и их причины возникновения, а также возможные способы их устранения. В результате идентификации по программе оперативно необходимая информация выводится оператору секции барабанных мельниц из базы знаний.

Список літератури

1. Diagnostyka urzadzen wiertniczych / G.G. Piwniak, M. Kaliski, A. Zieba, L.J. Mieszczertjakow, M.A. Dudla. – Krakow, Dniepropietrowsk, 2004. – 174 с.
2. Мещеряков Л.И. Математические основы построения дисперсионных диагностических моделей горных электромеханических систем. Вибрации в технике и технологиях, 2002, №1(22). - с. 41–44.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.
Надійшла до редакції 21.04.09*

СТРУКТУРА КАНАЛА ВЫВОДА ИНФОРМАЦИИ НА ЭКРАН АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В работе предлагается структура канала вывода информации на экран аэронавигационной геоинформационной системы реального времени, основанная на взаимодействии 2 параллельных ветвей обработки данных для отображения динамической сцены.

У роботі запропонована структура каналу виведення інформації на екран аеронавігаційної геоінформаційної системи реального часу, заснована на взаємодії 2 паралельних напрямків обробки даних для відображення динамічної сцени

The given article deals with a new structure of the channel which displays the information at the screen of aeronavigation geoinformation systems of the real-time, based on the interaction of 2 parallel data processing branches for visualization dynamic scene.

Введение. Воздушная обстановка на экранах аэронавигационных систем обычно представляется перемещением символов реальных движущихся объектов на картографическом фоне с привязкой к конкретному участку местности. В таких системах воздушная обстановка представляется в виде динамической сцены, подаваемой в темпе электронного кино [1-3].

Для наиболее реалистичного представления обстановки на экранах аэронавигационной геоинформационной системы реального времени (АНГС РВ) отображается перемещение символов реальных объектов по отношению к неподвижным объектам. В качестве неподвижных объектов используется карта местности для двумерной сцены или 3-мерная модель местности, на фоне которой и происходит перемещение символов реальных объектов.

В подобных динамических сценах статические изображения являются хорошим информационным средством для оператора, но значительно большую информацию дают именно перемещающиеся в реальном времени на этом фоне символы реальных динамических объектов. При отображении динамические объекты представляются в виде небольших изображений по сравнению с экраном, на котором отображается сцена. Статические объекты могут иметь размеры равные или превосходящие размер экрана.

Постановка задачи. Задача отображения обстановки в АНГС РВ является одной из самых важных, поэтому одним из основных ее компонентов является подсистема вывода информации на экран. В связи с необходимостью обеспечения реалистичности отображаемой динамической сцены необходимо обеспечить отображение динамической информации в темпе, приближенному к реальному времени.

В связи с этим возникает задача:

- разработать структуру канала вывода информации на экран АНГС, обеспечивающую возможность отображения перемещающихся объектов в реальном времени.

Основная часть. В результате проведения анализа методов организации динамических сцен [1-4] установлено, что в настоящее время динамическая сцена представляется двумя составляющими [4]: статикой (картографический фон или 3-мерная модель местности) и динамикой (перемещение сложных символов реальных объектов), рис. 1.



Рис. 1. Общее представление составляющих динамической сцены

Задача отображения обстановки в АНГС РВ является одной из самых важных и основным ее компонентом является подсистема вывода информации на экран. Под информацией, выводимой на экран АНГС РВ, понимается зрительный образ динамической сцены перемещения движущихся объектов на картографическом фоне. За основу построения канала вывода зрительного образа на экран АНГС РВ берется структура канала ввода и вывода информации системы отображения, предложенная в работах [1,4], а также идея разделения вычислений, необходимых для синтеза изображения, на «медленные» и «быстрые» [5]. Применительно к поставленной задаче, к «медленным» вычислениям относятся такие вычисления, результат которых не изменяется или слабо изменяется в течение времени построения и отображения кадра (построение фона, на котором отображается перемещение объектов). К «быстрым» вычислениям относятся вычисления, результат которых несколько раз изменяется в течение кадра при обработке очередного пиксела изображения. Нами предлагается следующая структура канала вывода графической информации на экран АНГС РВ, рис. 2.

Канал вывода зрительного образа динамической сцены включает следующие обязательные блоки, рис. 2:

- прикладная модель (ПМ), содержащая описания графических и неграфических свойств объектов;
- запоминающее устройство картографического фона (ЗУ КФ), хранящее всю необходимую информацию для построения и отображения картографического фона (в случае двухмерной модели) или 3-хмерной модели местности;
- запоминающее устройство символов перемещающихся объектов (ЗУ СПО), хранящая всю необходимую информацию для построения и отображения символов перемещающихся объектов в динамической сцене;

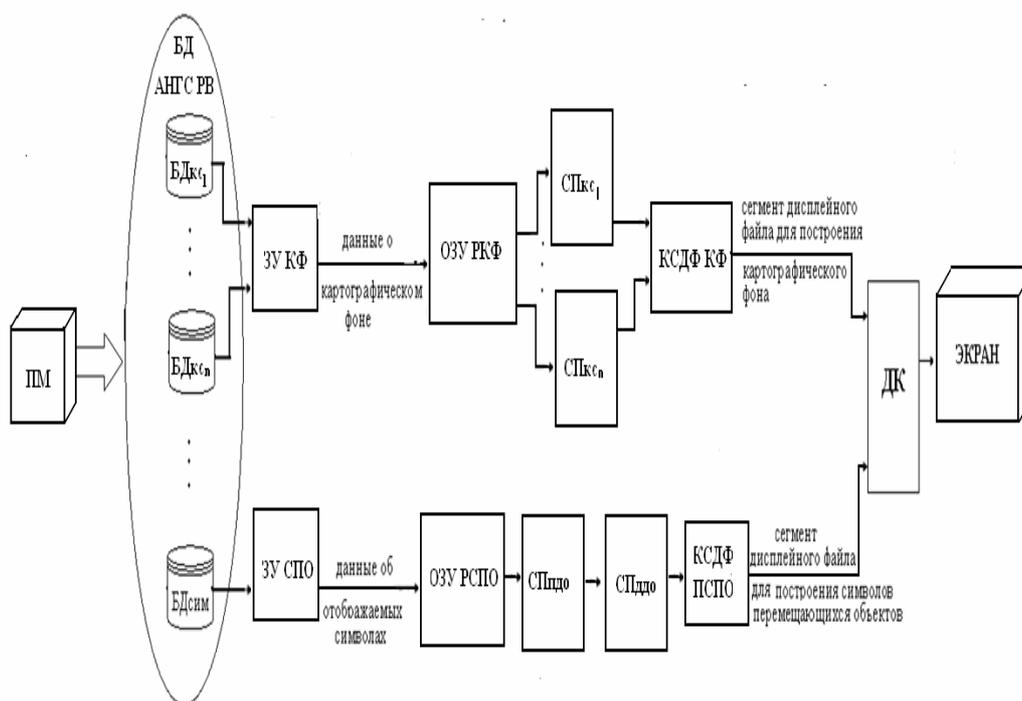


Рис. 2. Структура канала вывода информации на экран

- оперативное запоминающее устройство регенерации картографического фона (ОЗУ РКФ), хранящее данные для построения картографического фона или 3-хмерной модели местности;
- оперативное запоминающее устройство регенерации символов перемещающихся объектов (ОЗУ РСПО), хранящее данные для построения символов объектов, в дальнейшем отображаемых на экране АНГС РВ;
- спецпроцессор картографического слоя (СПкс_i), производящий расчеты необходимые для отображения i-го картографического слоя;
- спецпроцессор динамики движущихся объектов (СПддо), производящий расчеты необходимые для описания эволюций движущихся объектов;
- спецпроцессор поверхности движущихся объектов (СПпдо), производящий расчеты необходимые для определения поверхности движущихся объектов;
- компилятор сегмента дисплейного файла для построения картографического фона (КСДФ КФ), представляющий собой компилятор части прикладной программы вывода изображений на экран, состоящей из последовательности операций для дисплейного контроллера для построения картографического фона;
- компилятор сегмента дисплейного файла для построения символов перемещающихся объектов, отображаемых на экране на картографическом фоне (КСДФ ПСПО), представляющий собой компилятор части прикладной программы вывода изображений на экран, состоящей из последовательности операций для дисплейного контроллера;
- дисплейный контроллер (ДК), отображающий дисплейный файл в виде изображения на экране.

Нами предлагается объекты сцены подразделить на несколько типов. Объекты каждого из этих типов хранятся в своей базе данных (БДкс₁, ..., БДкс_n,

БДсим), рис. 2, и обрабатываются отдельно друг от друга. Соответственно осуществляется распараллеливание обработки сцены и оптимизация обработки каждого типа объектов. Каждый спецпроцессор производит расчеты необходимые для отображения объектов сцены определенного типа, вырабатывает данные о координатах, цвете поверхности, нормали (вектор-градиент) к поверхности в данной точке пересечения, отражательной способности, прозрачности и др. Обработка статической составляющей в канале информации происходит по цепочке:

ПМ → БДкс_i → ЗУ КФ → ОЗУ РКФ → СПкс_i → СКДФ КФ → ДК → ЭКРАН, динамической:

ПМ → БДсим → ЗУ СПО → ОЗУ РСПО → СПпдо и/или СПддо → СКДФ ПСПО → ДК → ЭКРАН.

Отображающаяся на экране АНГС РВ динамическая сцена изменяется во времени (происходит изменение или удаление части изображения, поворот определенных символов или части сложного изображения на заданный угол и т.д) и соответственно для реалистичного ее отображения необходимо постоянно изменять дисплейный файл. Исследования показали, что постоянная перекомпиляция дисплейного файла является не эффективным средством. Более эффективный путь предложен в работе [1] и состоит в применении принципа сегментирования дисплейного файла, состоящего в том, что при изменении изображения производится переформирование только соответствующих его частей (сегментов), на которые предлагается поделить компилируемый дисплейный файл.

Поэтому в предложенной структуре канала вывода зрительного образа отображение динамической сцены происходит по 2 параллельным ветвям: одна ветвь в канале отвечает за построение и отображение картографического фона, вторая - для представления динамической составляющей зрительного образа на этом фоне. Хранение данных для построения картографического фона и движущихся символов осуществляется в разных участках ОЗУ. При построении динамической сцены данные из общей памяти записываются в специализированное ОЗУ, при помощи компилятора создается соответственный сегмент дисплейного файла, который отвечает за построение отдельно статической и динамической составляющих. Формирование конечного дисплейного файла для отображения результирующей сцены на экране происходит на конечном этапе при помощи совместного отображения сегментов дисплейных файлов дисплейным контроллером.

Поскольку предлагаемая структура канала вывода зрительного образа на экран АНГС РВ содержит две параллельных ветви обработки данных, то в случае изменения дисплейного файла, например при вращении символа объекта, необходимы перекомпиляция лишь сегмента, отвечающего за построение и отображение соответствующего символа, а не всего дисплейного файла, и последующее направление этого сегмента на дисплейный контроллер для отображения, что обеспечивает увеличение скорости построения кадров зрительного образа при воспроизведении его на экране в реальном времени.

Выводы. Предложена структура канала вывода информации на экран АНГС РВ содержит две параллельных ветви обработки данных, причем одна

ветвь обеспечивает построение и отображение на экране картографического фона, а вторая - построение динамической составляющей зрительного образа динамической сцены, что обеспечивает в момент изменения дисплейного файла перекомпиляцию не всего дисплейного файла, а лишь только его сегмента, что в свою очередь обеспечивает увеличение скорости построения кадров зрительного образа при воспроизведении его на экране в реальном времени. Дальнейшее развитие данного направления предполагает аппаратно-программную реализацию данного канала вывода информации для его применения при отображении динамической воздушной обстановки в современных аэронавигационных геоинформационных системах реального времени.

Список литературы

1. Смолий В.В. Применение конформных отображений в процессе геометрических преобразований изображений динамических объектов //Наукові праці ДонДТУ. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка, випуск 15.- Донецьк: ДонДТУ, 2000.- С.150-155.
2. Бородин В.А., Васюхин М.И., Соболев О.Н. Методы синтеза картографического фона, быстрого изменения масштаба карты и эшелонированного скроллинга //Наукові праці ДонНТУ. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка", випуск 70.-Донецк, ДонНТУ, 2003 - С.188-200.
3. Васюхин М.И., Креденцар С.М., Пономарев А.А., Смолий В.В. Проблемы построения динамических сцен, выводимых на экран геоинформационных комплексов реального времени // Вестник ХГТУ.- 2006.- № 1.- С.11-16.
4. М.И. Васюхин Модель процесса построения динамической сцены в аэронавигационных геоинформационных системах реального времени /М.И. Васюхин, В.Д. Гулевец, С.М. Креденцар //Сборник научных трудов ДонГТУ. – 2008. – № 9(132). – С.119-125.
5. Філімончук М.А. Моделі, алгоритми та структури спецпроцесорів формування зображень об'єктів, що рухаються, в системах візуалізації реального часу: дис ... кандидата техн. Наук : 05.13.13 / М.А. Філімончук; Харк. нац. ун-т радіоелектрон.. — Х., 2004. — 143 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачевим В.В.
Надійшла до редакції 20.04.09*

УДК 004.032.26

© С.В. Попов

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АРХИТЕКТУРЫ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ ГИБРИДНЫХ НЕЙРОПОДОБНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье предложен метод специализации архитектур искусственных нейронных сетей на основе комбинирования синапсов различных типов с учетом априорной информации в новых гибридных нейроподобных элементах.

У статті запропоновано метод спеціалізації архітектур штучних нейронних мереж на базі комбінування синапсів різних типів з урахування априорної інформації в нових гібридних нейроподібних елементах.

In this paper, a method for specializing architectures of artificial neural networks is proposed that combines different types of synapses according to a priori information in new hybrid neuronlike units.

Введение. В задачах обработки временных рядов различной физической природы нередки ситуации, когда стандартные архитектуры искусственных нейронных сетей (ИНС) такие, как многослойный персептрон с элементами запаздывания во входном слое или сети с временными задержками [1] не обеспечивают требуемое качество прогнозирования. Дополнительную сложность может представлять необходимость учета внешних независимых входов, все или некоторые из которых могут описываться порядковыми и номинальными переменными.

Максимально использовать всю имеющуюся в таких случаях априорную и текущую информацию позволяют специализированные архитектуры искусственных нейронных сетей [2], в частности, построенные с использованием нейро-фаззи элементов [3] и динамических нейронов с конечной импульсной характеристикой [4]. Комбинируя в скрытых слоях сети эти типы нейронов, а также стандартные нейроны Маккаллоха-Питтса и динамические нейроны с бесконечной импульсной характеристикой [5], используя неполносвязные архитектуры, можно создавать специализированные нейронные сети, структура которых максимально соответствует специфике решаемой задачи.

Описанный способ специализации архитектуры нейронной сети основан на выборе типов используемых нейронов и выборе структуры связей между ними. Более гибкой специализации и соответственного уменьшения количества настраиваемых параметров можно достичь, если опуститься до уровня подбора отдельных синапсов различных нейронов сети.

Целью настоящей работы является создание метода специализации архитектур искусственных нейронных сетей на основе комбинирования синапсов различных типов с учетом априорной информации о свойствах обрабатываемых сигналов. Для этого необходимо разработать новый тип гибридных нейронов, содержащих синапсы различных типов, а также создать новые архитектуры нейронных сетей на их основе.

Основные результаты. Анализ существующих типов нейронов [1, 3-5] позволяет объединить их свойства в новом строительном блоке – гибридном нейроподобном элементе (HNU), структура которого представлена на рис. 1.

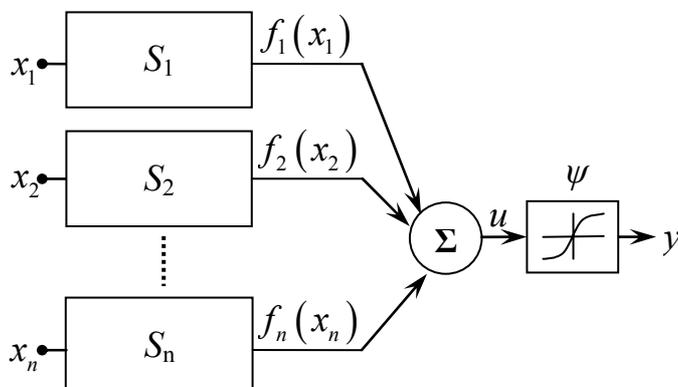


Рис. 1. Гибридный нейроподобный элемент

Входные сигналы $x_i (i=1, \dots, n)$ преобразуются с помощью синапсов различных типов S_i в сигналы $f_i(x_i)$, которые затем объединяются в сигнал внутренней активации u :

$$u = \sum_{i=1}^n f_i(x_i). \quad (1)$$

Выходной сигнал нейрона формируется с помощью нелинейной активационной функции

$$y = \psi(u) = \psi\left(\sum_{i=1}^n f_i(x_i)\right), \quad (2)$$

где в качестве $\psi(u)$, обычно, используется сигмоидальная функция или гиперболический тангенс.

В гибридном нейроподобном элементе используются синапсы четырех типов: линейный синапс (рис. 2), нелинейный синапс на основе нечеткой системы (рис. 3), синапс-фильтр с конечной импульсной характеристикой (рис. 4) и синапс-фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (рис. 5).

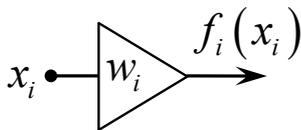


Рис. 2. Линейный синапс

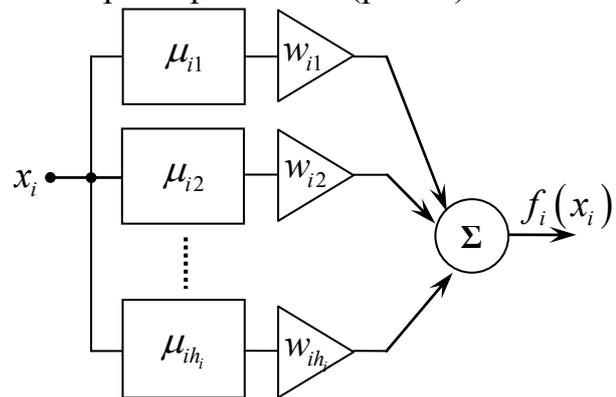


Рис. 3. Нелинейный синапс

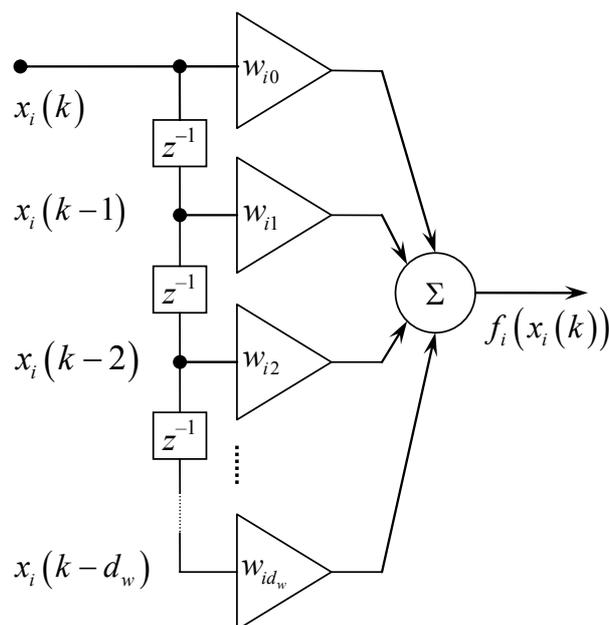


Рис. 4. Синапс-фильтр с конечной импульсной характеристикой

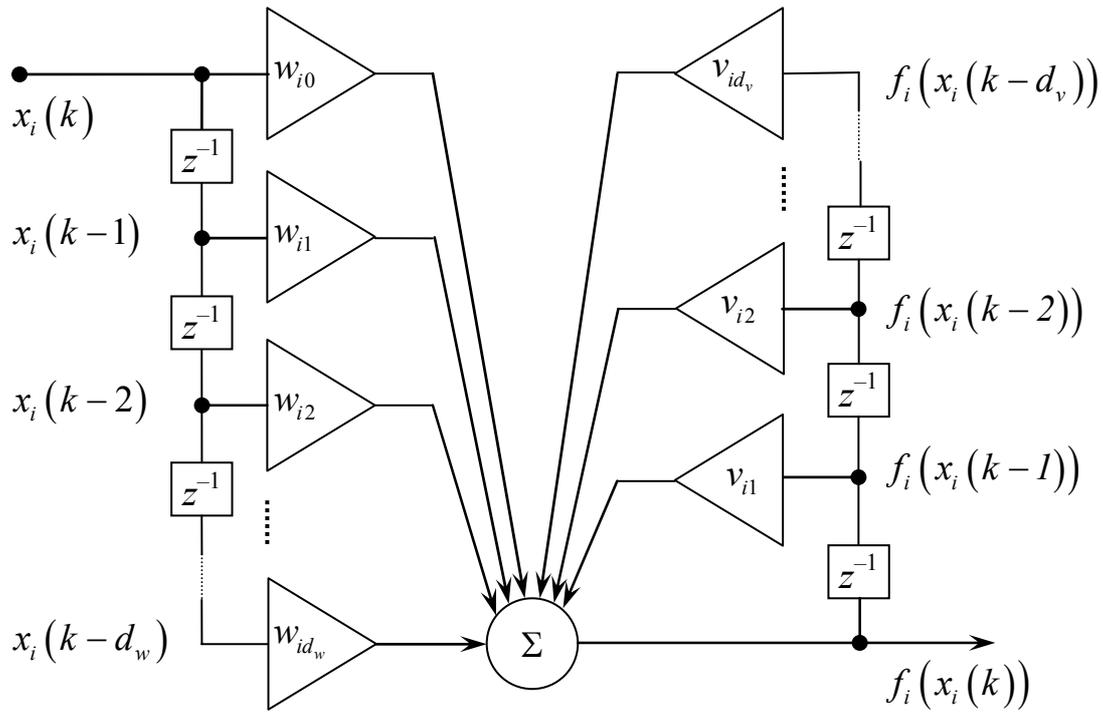


Рис. 5. Синапс-фильтр с бесконечной импульсной характеристикой

В приведенных схемах w_i, w_{ij}, v_{ij} – настраиваемые синаптические веса, μ_{ij} – функции принадлежности, d_w, d_v – максимальные порядки запаздываний. В соответствии с данными схемами выходные сигналы различных типов синапсов формируются следующим образом:

– для линейного синапса:

$$f_i(x_i) = w_i x_i; \quad (3)$$

– для нелинейного синапса на основе нечеткой системы:

$$f_i(x_i) = \sum_{j=1}^{h_i} w_{ij} \mu_{ij}(x_i), \quad (4)$$

где h_i – количество функций принадлежности для i -го входа;

– для синапса-фильтра с конечной импульсной характеристикой:

$$f_i(x_i(k)) = \sum_{j=0}^{d_w} w_{ij} x_i(k-j); \quad (5)$$

– для синапса-фильтра с бесконечной импульсной характеристикой:

$$f_i(x_i(k)) = \sum_{j=0}^{d_w} w_{ij} x_i(k-j) + \sum_{j=1}^{d_v} v_{ij} f_i(x_i(k-j)). \quad (6)$$

В нелинейных синапсах на основе нечеткой системы обычно применяются треугольные функции принадлежности, значения которых определяются расстоянием между входом x_i и центрами c_{ij} :

$$\mu_{ij}(x_i) = \begin{cases} \frac{x_i - c_{i,j-1}}{c_{ij} - c_{i,j-1}}, x_i \in [c_{i,j-1}, c_{ij}]; \\ \frac{c_{i,j+1} - x_i}{c_{i,j+1} - c_{ij}}, x_i \in [c_{ij}, c_{i,j+1}]; \\ 0 \text{ в остальных случаях,} \end{cases} \quad (7)$$

при этом автоматически обеспечивается разбиение Руспини

$$\sum_{j=1}^{h_i} \mu_{ij}(x_i) = 1, \forall i. \quad (8)$$

Если активен нечеткий интервал p , выход нелинейного синапса можно выразить следующим образом:

$$\begin{aligned} f_i(x_i) &= \sum_{j=1}^{h_i} w_{ij} \mu_{ij}(x_i) = w_{ip} \mu_{ip}(x_i) + w_{i,p+1} \mu_{i,p+1}(x_i) = \\ &= \frac{c_{i,p+1} - x_i}{c_{i,p+1} - c_{ip}} w_{ip} + \frac{x_i - c_{ip}}{c_{i,p+1} - c_{ip}} w_{i,p+1} = a_i x_i + b_i, \end{aligned} \quad (9)$$

где $a_i = \frac{w_{i,p+1} - w_{ip}}{c_{i,p+1} - c_{ip}}$, $b_i = \frac{c_{i,p+1} w_{ip} - c_{ip} w_{i,p+1}}{c_{i,p+1} - c_{ip}}$.

Работа нелинейного синапса по фаззификации одного входа x_i схематически представлена на рис. 6. Жирными линиями показаны активные функции принадлежности на нечетком интервале p . Таким образом, каждый нелинейный синапс выполняет кусочно-линейное преобразование $f_i(x_i)$ соответствующего входного сигнала x_i , а его нелинейные свойства легко контролируются с помощью параметров функций принадлежности c_{ij} .

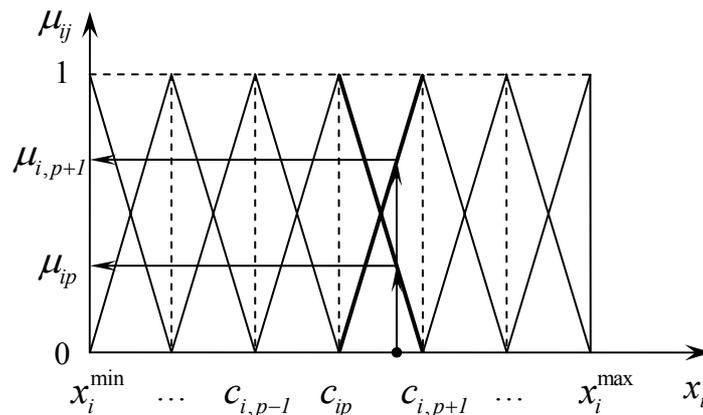


Рис. 6. Фаззификация входа x_i

Применение гибридных нейроподобных элементов позволяет строить нейронную сеть по стандартной многослойной архитектуре (рис. 7), специализация которой достигается за счет:

- выбора типа синапса для каждой связи сети, включая возможность разрыва связи (отсутствие синапса);
- выбора количества и порядка элементов задержек в синапсах-фильтрах с конечной и бесконечной импульсными характеристиками;
- выбора количества и параметров функций принадлежности в нелинейных синапсах.

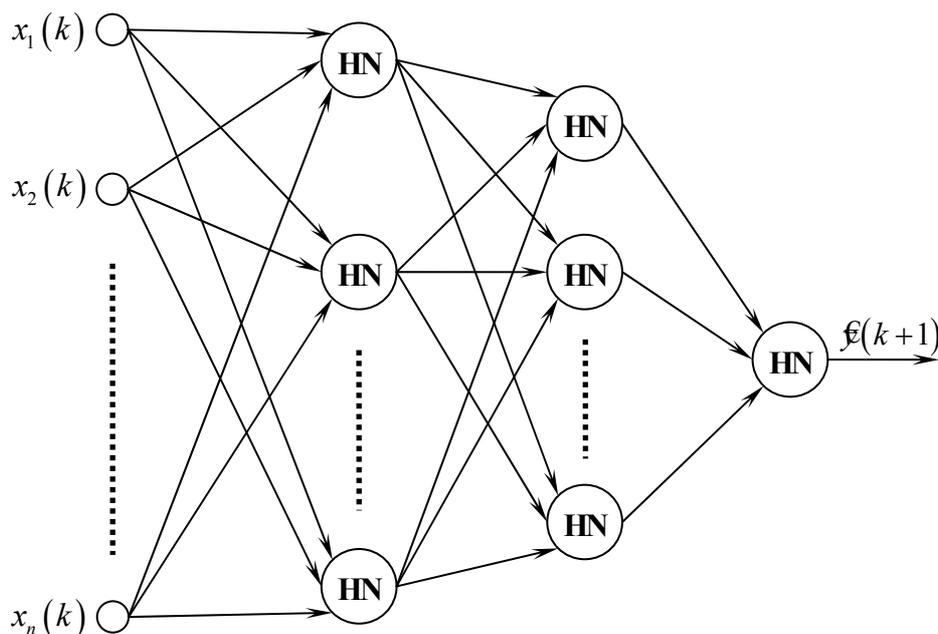


Рис. 7. Архитектура ИНС на базе гибридных нейроподобных элементов

Заключение. Построение гибридных сетей на базе гибридных нейроподобных элементов дает возможность гибкого выбора между универсальными (все синапсы одного типа, полносвязная архитектура) и специализированными (синапсы различных типов и/или неполносвязная архитектура) архитектурами. При этом возможна реализация нелинейных моделей авторегрессии (NAR), авторегрессии с внешними входами (NARX), авторегрессии – скользящего среднего (NARMA), авторегрессии – скользящего среднего с внешними входами (NARMAX).

Дальнейшее развитие предложенного подхода включает разработку и использование в гибридных нейроподобных элементах новых типов синапсов, предназначенных для обработки специфических сложных сигналов. Это позволит реализовать нелинейные модели из других классов и в целом повысить эффективность решения задач обработки временных рядов без существенного увеличения числа настраиваемых параметров гибридных сетей.

Список литературы

1. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999. – 842 p.
2. Bodyanskiy Y., Popov S., Rybalchenko T. Feedforward Neural Network with a Specialized Architecture for Estimation of the Temperature Influence on the Electric Load // Proc. 4th Int. IEEE Conf. Intelligent Systems. – Varna, Bulgaria, September 6-8, 2008. – I. – P. 7-14-7-18.
3. Bodyanskiy Y., Popov S. Multilayer Network of Neuro-Fuzzy Units in Forecasting Applications // Research Papers of Wroclaw University of Economics. Knowledge Acquisition and Management. – 2008. – N. 25. – P. 9-14.
4. Бодянский Е.В., Попов С.В., Чепенко Т.Е. Прогнозирующая адаптивная нейронная сеть с динамическими нейронами-фильтрами // Радиоэлектроника и информатика. – 2003. – N. 2. – С. 48-51.
5. Бодянский Е.В., Попов С.В., Чепенко Т.Е. Алгоритм обучения локально рекуррентной нейронной сети в задаче идентификации нелинейных динамических объектов // АСУ и приборы автоматики. – 2004. – 126. – С. 17-23.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесарєвим В.В.
Надійшла до редакції 20.05.09*

УДК 622.4:004.383.8.032.26

© В.В. Яворская, А.Н. Коваленко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАЗРЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ РАСЧЁТНЫХ СХЕМ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ШАХТ

В работе проведён сравнительный анализ расчёта систем нелинейных уравнений двумя способами: методом Ньютона и посредством нейронных сетей. Показана эффективность использования метода нейронных сетей для расчёта сетевых моделей больших нестационарных стохастических вентиляционных систем шахт, содержащих параметры с различной степенью нелинейности.

У роботі проведений порівняльний аналіз розрахунку систем нелінійних рівнянь двома способами: методом Ньютона і за допомогою нейронних мереж. Показана ефективність використання методу нейронних мереж для розрахунку мережних моделей великих нестационарних стохастичних вентиляційних систем шахт, що містять параметри з різним ступенем нелінійності.

The comparative analysis of calculation of the systems of nonlinear equalizations by two methods is conducted in work: by the method of Newton and by means of neurons networks. Efficiency of the use of method of neurons networks is shown for the calculation of networks models of the large unstationary stochastic venting systems of mines containing parameters with the different degree of non-linearity.

Введение. Принятие оперативных решений при тушении пожаров на шахте, вызывает необходимость создания «Компьютерных систем поддержки принятия решений руководством объекта управления в экстремальных ситуациях». В данном случае возникает задача создания баз знаний, по которым возможно оперативно принимать в экстремальных условиях обоснованные, точные решения. Разрабатываемая модель знаний данной предметной области может основываться на результатах имитационного моделирования аварийных процессов на сетевых моделях вентиляционных систем шахт.

Постановка задачи исследования. В настоящее время не существует эффективных методов расчёта больших сетевых моделей с непостоянными нелинейностями моделируемых параметров. Поэтому в работе решается задача разработки эффективных методов расчёта нестационарных и нелинейных сетевых систем уравнений.

Вытекающая из теоремы Колмогорова [1] способность нейронных сетей выступать в качестве универсальных аппроксиматоров функций многих переменных [2] позволяет использовать нейросетевые подходы для решения систем нелинейных алгебраических уравнений, посредством которых описываются многомерные модели вентиляционных систем шахт.

Результаты работы. Рассмотрим возможности применения нейросетевых аппроксимаций функций многих переменных при решении систем нелинейных алгебраических уравнений.

Решим систему контурных нелинейных алгебраических уравнений

$$F(Q) = 0, \tag{1}$$

где $F(Q)$ – вектор функция, имеющая в покомпонентной форме вид

$$f_1(q_1, q_2, \dots, q_n) = 0,$$

$$f_2(q_1, q_2, \dots, q_n) = 0,$$

.....

$$f_n(q_1, q_2, \dots, q_n) = 0.$$

Здесь n – количество контурных уравнений модели вентиляционной системы шахты; q_i – расходы воздуха в i -х ветвях (горных выработках) модели вентиляционной системы шахты.

Метод простой итерации (метод Гаусса – Якоби [3]) – решение системы (1) строится по схеме:

$$Q^{(k+1)} = Q^{(k)} - \alpha F(Q^{(k)}), \tag{2}$$

где k – номер итерации, α – итерационный параметр.

Для аппроксимации вектор-функции $F(Q)$ можно использовать нейронную сеть. Тогда, итерационный процесс (1) преобразуется к виду:

$$Q^{(k+1)} = Q^{(k)} - \alpha Y(Q^{(k)}),$$

где $Y(Q^{(k)})$ – выход нейронной сети, обученной аппроксимации вектор функции $F(Q)$ при подаче на вход сети вектора $Q^{(k)}$.

Процесс завершается при выполнении условия

$$\|F(Q^{(k)})\| \leq \varepsilon, \tag{3}$$

где $\|F(Q^{(k)})\|$ – норма вектора; ε – заданное, малое число.

При решении нелинейных уравнений наибольшее распространение получил метод Ньютона [4] и Ньютона-Рафсона [3]:

$$Q^{(k+1)} = Q^{(k)} + \Delta Q^{(k+1)}. \quad (4)$$

Вектор $\Delta Q^{(k+1)}$ получается в результате решения системы линейных алгебраических уравнений

$$J(Q^{(k)})\Delta Q^{(k+1)} = -F(Q^{(k)}), \quad (5)$$

где $J(Q^{(k)})$ - матрица Якоби (Якобиан):

$$J(Q^{(k)}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1(Q^{(k)})}{\partial q_1}, \frac{\partial f_1(Q^{(k)})}{\partial q_2}, \dots, \frac{\partial f_1(Q^{(k)})}{\partial q_n} \\ \frac{\partial f_2(Q^{(k)})}{\partial q_1}, \frac{\partial f_2(Q^{(k)})}{\partial q_2}, \dots, \frac{\partial f_2(Q^{(k)})}{\partial q_n} \\ \dots \\ \frac{\partial f_n(Q^{(k)})}{\partial q_1}, \frac{\partial f_n(Q^{(k)})}{\partial q_2}, \dots, \frac{\partial f_n(Q^{(k)})}{\partial q_n} \end{pmatrix} \quad (6)$$

где $f_1(Q^{(k)})$, $i = 1, 2, \dots, n$ – значения компонентов вектор-функции $F(Q)$ при $X = X^k$, т.е. при k – м приближении.

В методе Ньютона можно использовать критерий останова итераций (3) или критерий:

$$\|\Delta Q^{(k+1)}\| \leq \varepsilon. \quad (7)$$

Для аппроксимации матрицы Якоби может быть использована нейронная сеть. Известно [4], что для аппроксимации непрерывной вектор-функции размерности M от N переменных достаточно взять двухслойную сеть с N входами и M выходами. Первый слой с сигмоидальной (непрерывной и дифференцируемой) функцией активации состоит из $(2N + 1)$ нейронов. Выходной слой с линейной функцией активации имеет M нейронов. Иногда предлагается использовать трёхслойную сеть с $(N + 1)$ нейронами в первом слое и $(2N + 1)$ - во втором.

Пусть двухслойная нейронная сеть обучена процессу аппроксимации вектор-функции $F(Q)$. Рассмотрим математическое описание работы сети. На выходе адаптивных сумматоров первого (нелинейного) слоя сети формируется вектор:

$$V(Q) = W_1 Q, \quad (8)$$

где Q – вектор входа сети; W_1 - матрица весов первого слоя сети.

На выходе первого слоя будем иметь:

$$Z(Q) = G(V), \quad (9)$$

где G – вектор-функция активации первого слоя.

На выходе второго (линейного) слоя сети имеем:

$$Y(Q) = W_2 Z(Q), \quad (10)$$

где W_2 – матрица весов второго слоя.

Пренебрегая погрешностью аппроксимации, для обученной сети имеем: $Y(Q) = F(Q)$. Согласно теореме об умножении Якобианов получаем

$$J = \frac{\partial Y}{\partial Z} \times \frac{\partial Z}{\partial V} \times \frac{\partial V}{\partial Q}. \quad (11)$$

Из выражения (10) имеем:

$$\frac{\partial Y}{\partial Z} = \begin{pmatrix} \frac{\partial(w_{2(11)}z_1)}{\partial z_1}, \frac{\partial(w_{2(12)}z_2)}{\partial z_2}, \dots, \frac{\partial(w_{2(1n)}z_n)}{\partial z_n} \\ \frac{\partial(w_{2(21)}z_1)}{\partial z_1}, \frac{\partial(w_{2(22)}z_2)}{\partial z_2}, \dots, \frac{\partial(w_{2(2n)}z_n)}{\partial z_n} \\ \dots \\ \frac{\partial(w_{2(n1)}z_1)}{\partial z_1}, \frac{\partial(w_{2(n2)}z_2)}{\partial z_2}, \dots, \frac{\partial(w_{2(nn)}z_n)}{\partial z_n} \end{pmatrix} = W_2 \quad (12)$$

где $w_{2(ij)}$ – элементы матрицы W_2 .

Примем, что в качестве функции активации первого слоя используется логистическая функция

$$g_i(v_i) = \frac{1}{1 + e^{-v_i}}, \quad (13)$$

где i – номер нейрона первого слоя; g_i – компонент вектора G из выражения (9).

Тогда из (13) получаем

$$\frac{\partial g_i(v_i)}{\partial v_i} = \frac{e^{-v_i}}{(1 + e^{-v_i})^2} = g_i(v_i)(1 - g_i(v_i)). \quad (14)$$

Из (9) и (14) получаем в матричной форме записи

$$\frac{\partial Z}{\partial V} = D(Q)(E - D(Q)), \quad (15)$$

где $D = \text{diag}\{g(v_i)\}$ – диагональная матрица, построенная из элементов вектор-функции $G(V)$ выражения (9) – выхода первого слоя сети; E – единичная матрица.

Из выражения (8) аналогично (13) получаем

$$\frac{\partial V}{\partial Q} = W_1. \quad (16)$$

Окончательно выражение для матрицы Якоби (11) на k -ой итерации с учётом (12), (15) и (16) запишется в виде

$$J(Q^{(k)}) = W_2 D(Q^{(k)}) (E - D(Q^{(k)})) W_1. \quad (17)$$

Таким образом, в итерационном процессе метода Ньютона (5) Якобиан заменяется выражением (17), а в качестве значения вектор - функции $F(Q^{(k)})$ можно использовать выход обученной нейронной сети $Y(Q^{(k)})$, т.е. весьма громоздкие вычисления Якобиана и вектор - функции заменяются работой с нейронной сетью.

Несложно показать, что для трёхслойной сети выражение для Якобиана на k - й итерации имеет вид

$$J(Q^{(k)}) = W_3 D_2(Q^{(k)}) (E - D_2(Q^{(k)})) W_2 D_1(Q^{(k)}) (E - D_1(Q^{(k)})) W_1,$$

где $W_l, l = 1, 2, 3$ – матрицы весов соответствующих весов; $D_j, j = 1, 2, 3$ – диагональные матрицы, построенные из элементов векторов выходов слоёв сети.

Нейронная сеть, аппроксимирующая вектор-функцию и Якобиан, может быть эмулирована на персональном компьютере или реализована аппаратно. Решение системы линейных уравнений (5) может быть проведено на линейной сети Хопфилда.

Экспериментальное исследование нейросетевой реализации алгоритма Ньютона проводилось на примере решения системы нелинейных сетевых уравнений, которые описывают упрощённую схему вентиляционной системы шахты. Она приведена на рисунке.

$$\begin{cases} r_{0,1}(q_1 + q_2)^2 + r_{1,3}(q_1 - q_3)^2 + r_{3,5}q_1^2 = h_1; \\ r_{0,1}(q_1 + q_2)^2 + r_{1,4}(q_2 - q_4)^2 + r_{4,6}q_2^2 = h_2; \\ -r_{1,3}(q_1 - q_3)^2 + r_{2,3}q_3^2 + r_{2,3}q_3^2 + r_{1,2}(q_3 + q_4)^2 = 0; \\ r_{1,2}(q_3 + q_4)^2 + r_{2,4}q_4^2 - r_{1,4}(q_2 - q_4)^2 = 0, \end{cases} \quad (18)$$

где $q_1 = q_{3,5}; q_2 = q_4; q_3 = q_{2,3}; q_4 = q_{2,4}$.

Таблица 1

Базисные значения аэродинамических сопротивлений в расчётной схеме

Код сети	0,1	1,2	1,3	1,4	2,3	2,4	3,5	4,6
$r, k\mu$	0,01	0,012	0,15	0,507	0,04	0,4	0,06	0,05

При решении «обычным» методом Ньютона для начального приближения 4 контурных потоков $q_K^0 = \{0,7; 0,2; 0,6; 0,3\}$ за 4 итерации была достигнута точность 10^{-4} по критерию (7). Полученное решение равно $q_K^0 = \{0,9713; -0,0416; 0,9998; -0,02160\}$.

Нейронная сеть моделировалась с использованием Neural Network Toolbox (NNT) системы MATLAB v.6.1. Сеть обучалась по методу обратного распространения ошибки с использованием одного из наиболее мощных алгоритмов – алгоритма Левенберга-Марквардта (Levenberg-Marquardt algorithm)[4].

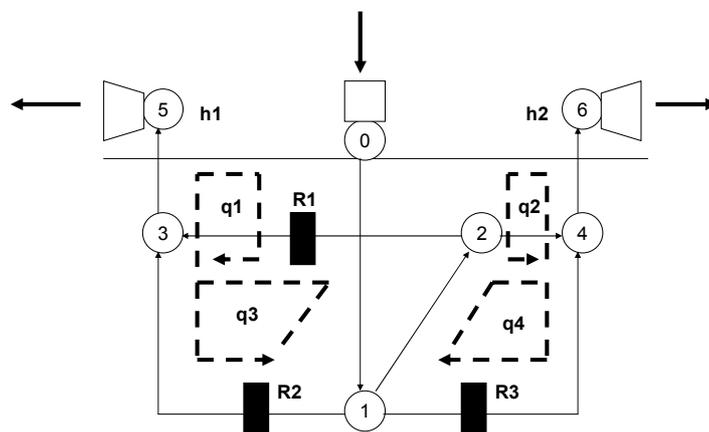


Рис. 1. Упрощённая расчётная схема вентиляционной системы шахты

Для преодоления эффекта переобучения использовалась процедура формирования представительной выборки, для чего из исходных данных были выделены три подмножества:

- обучающее (training set);
- контрольное (validation set);
- тестовое (test set).

Обучающее подмножество использовалось для настройки параметров сети, контрольное – для определения представительности используемой выборки. Если ошибка сети на контрольном множестве не уменьшалась в течении заданного числа циклов обучения (epochs), то это означало, что в сети начал появляться эффект переобучения. В этом случае процесс обучения прерывался, фиксировалась итерация, на которой ошибка для контрольного подмножества была минимальной, и восстанавливались соответствующие значения настраиваемых параметров сети. Соответствующая длина выборки считалась представительной. Для формирования представительной выборки использовались возможности функции “train”. Обучающие, контрольные и тестовые множества формировались как массивы случайных векторов, значения компонентов которых равномерно распределены в интервале $[-0,2;1,0;]$. Исходные данные масштабировались к диапазону $[-1;0;]$. Сеть обучалась с использованием контрольного подмножества до предельной погрешности (goal), равной 0,001. Результаты обучения представлены на рис. 2.

Для оценки качества обучения сети использовался регрессионный анализ выходов сети и соответствующих целей. Регрессионный анализ реализован с использованием функции “postreg”. В ходе анализа моделировалась работа сети и вычислялась линейная регрессия между векторами выхода и цели. На рис. 3 приведены результаты регрессионного анализа для компонента f_4 – левой части четвёртого уравнения решаемой системы нелинейных уравнений (результаты для других компонентов вектор-функции аналогичны).

Если выходы сети точно равны целям, то коэффициент наклона регрессии должен быть равен 1, а смещение равно 0. В рассматриваемом примере эти параметры достаточно точно отражают линейную регрессию. Коэффициент корреляции близок к 1 ($R=0,999$), что показывает существенную связь между выходами и целями, т.е. малые изменения цели будут отражаться в выходах сети.

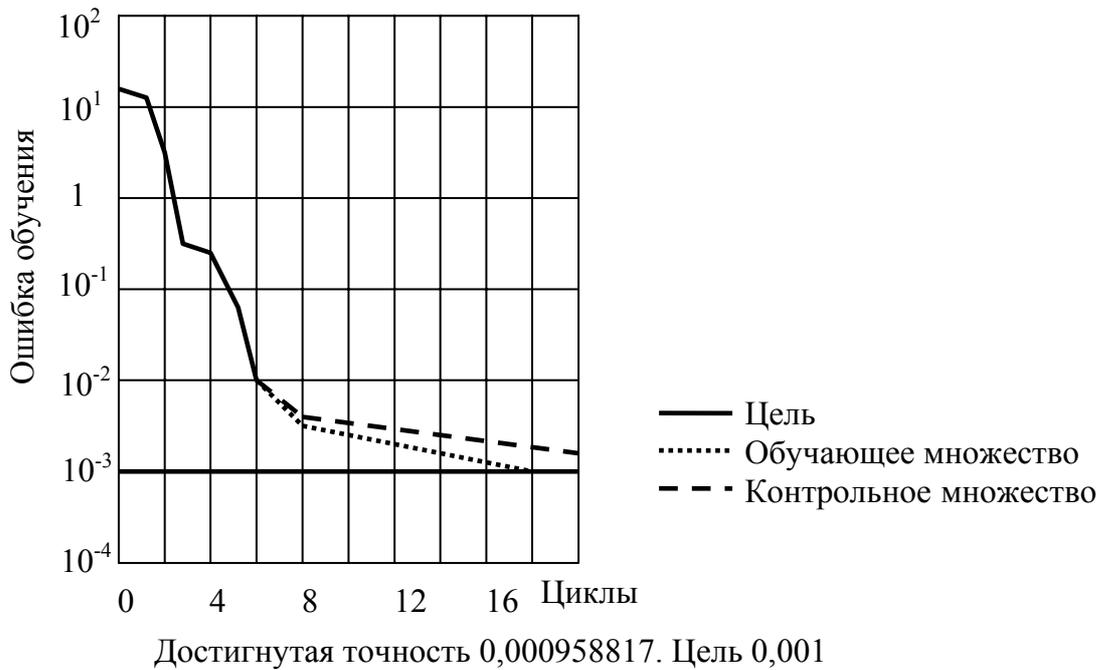


Рис. 2. Зависимость изменения погрешности обучения от числа циклов

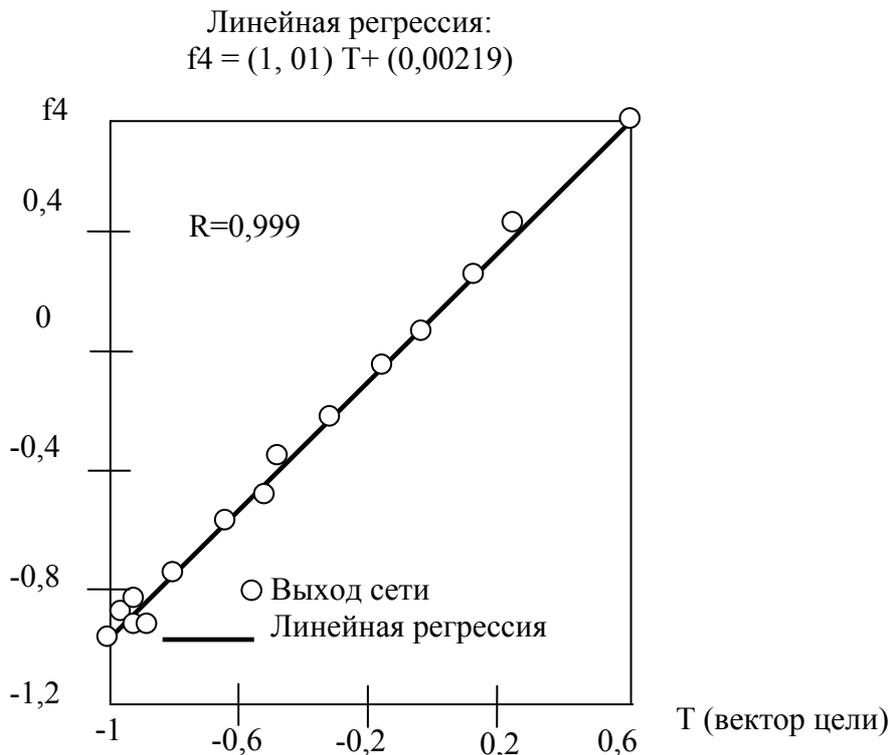


Рис. 3. Результаты регрессионного анализа

Исследовалась также аппроксимация функций с помощью трехслойной сети. Эксперименты показали, что использование такой сети принципиально не улучшило точность аппроксимации. Поэтому система (18) решалась методом Ньютона при вычислении Якобиана $J(Q^{(k)})$ и вектор-функции $F(Q^{(k)})$ с по-

мощью двухслойной сети $n_{L1} = 32$. Точность 10^{-4} по критерию (7) была достигнута за 7 итераций. Результаты решения показаны на рис. 4

Несколько большее число итераций в случае нейросетевого моделирования объясняется погрешностями аппроксимации.

Результаты исследования, изложенные в данной работе, подтверждают, что нейронные сети могут использоваться как эффективные средства решения систем нелинейных алгебраических уравнений, описывающих расчётные схемы больших нелинейных и нестационарных вентиляционных систем шахт.

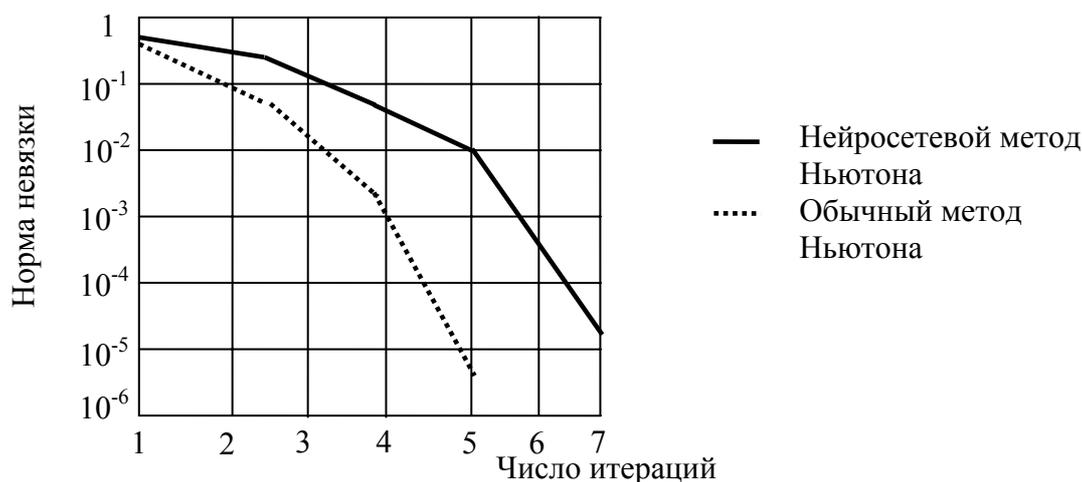


Рис. 4. Зависимость нормы невязки(μ) от числа итераций (k)

Выводы. Показано, что метод расчета больших сетевых моделей вентиляционных систем шахт посредством использования нейронных сетей не уступает методу Ньютона по скорости схождения алгоритма расчёта.

Установлено, что учет параллельной структуры алгоритма нейронных сетей позволяет существенно экономить машинное время при расчёте сетевых матриц размерностью больше чем 2000×2000 ветвей.

Доказано, что использование алгоритма нейронных сетей позволяет манипулировать с различными показателями турбулентности воздушных потоков в ветвях графа модели вентиляционной системы шахты.

Результаты работы будут использоваться при разработки новых методов расчёта, идентификации и адаптации моделей больших вентиляционных систем шахт.

Список литературы

1. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций многих переменных в виде суперпозиции непрерывных функций одного переменного // Доклады АН СССР, 1957, т.114, №5, с. 953 – 956.
2. Горбань А.Н. Функции многих переменных и нейронные сети.- Соровский образовательный журнал, 1998, №12, с. 105 – 112.
3. Чен К. MATLAB в математических исследованиях / К. Чен, П. Джиблин, А. Ирвинг. – М.: Мир, 2001, 346 с.
4. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации, М.: Финансы и статистика, 2002, 344 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.
Надійшла до редакції 15.04.09*

ВІРТУАЛЬНА МУЛЬТИМЕДІЙНА ЛАБОРАТОРІЯ: ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ

Стаття присвячена віртуальній мультимедійній лабораторії, яка призначена для дистанційного навчання студентів з дисциплін „Комп’ютерна графіка” та „Мультимедійні засоби в комп’ютерних системах”. У статті також обговорюється застосування модифікованого алгоритму JPEG-M для ущільнення зображень, які використовуються у віртуальній мультимедійній лабораторії.

Стаття посвячена віртуальній мультимедійній лабораторії, призначеній для дистанційного навчання студентів по дисциплінам „Комп’ютерна графіка” і „Мультимедійні засоби в комп’ютерних системах”. В статті також обговорюється застосування модифікованого алгоритму JPEG-M для стиснення зображень, використовуваних в віртуальній мультимедійній лабораторії.

This paper is devoted to the virtual multimedia laboratory developed for technical support of both “Computer graphics” and “Multimedia in computer systems” distant learning. The application of the modified JPEG-M for compressing images in the virtual multimedia laboratory is discussed in this paper as well.

Вступ. Досвід європейських університетів [1-2] показує, що якість засвоєння інформації під час навчання за дистанційною формою освіти залежить від можливості застосування додаткових навчальних засобів, зокрема віртуальних лабораторій та дистанційних лабораторій. Особливо це стосується дисциплін, пов’язаних із галуззю мультимедіа, наприклад, таких, як „Комп’ютерна графіка” та „Мультимедійні засоби в комп’ютерних системах”, оскільки їх вивчення завжди супроводжується виконанням комплексу лабораторних робіт. Це сприяє кращому засвоєнню матеріалу, покращує розуміння теоретичних викладень та дозволяє студентам отримати базові практичні навички з обробки аудіо, відео та графічної інформації. Отже, задача розробки віртуальної мультимедійної лабораторії є актуальною задачею, безпосередньо пов’язаною з проблемою підвищення якості дистанційної освіти.

Метою даної статті є поширення досвіду розробки віртуальної мультимедійної лабораторії. Віртуальна мультимедійна лабораторія [3] – це програмний продукт, призначений для проведення лабораторних робіт у режимі дистанційного навчання. Мета розробки віртуальної мультимедійної лабораторії – створення єдиного віртуального простору як для колективної, так і для індивідуальної роботи користувачів-студентів з виконання лабораторних завдань з можливістю перевірки виконаної роботи викладачем. Однією з основних задач під час розробки було підвищення ефективності застосування ресурсів віртуальної мультимедійної лабораторії за рахунок організації даних та оптимізації використання віддалених ресурсів, а також ущільнення мультимедійних даних.

Архітектура віртуальної мультимедійної лабораторії

Віртуальна мультимедійна лабораторія (рис.1) базується на клієнт-серверній архітектурі, тому роботи можуть проводитися як локально в комп’ютерному класі, так і віддалено через Internet. Це робить користування ві-

ртуальною лабораторією гнучким та дозволяє реалізувати концепцію дистанційного навчання, що є актуальною задачею, адже дистанційна форма освіти з кожним роком стає все більш популярною серед молоді.

Під час створення віртуальної мультимедійної лабораторії використовувалися наступні програмні продукти та технології:

- Microsoft Visual Studio 2008;
- Microsoft .Net Framework 3.5;
- база даних MySQL;
- FMod Ex Sound system;
- технологія ADO.NET.

Серверна частина програми виконує функції менеджера, що забезпечує обслуговування клієнтської частини програми. Після авторизації користувача, сервер відсилає необхідні файли для виконання практичного завдання. По закінченню роботи студент відправляє результат своєї роботи на сервер. Клієнтська частина комплексу являє собою оболонку для підключення модулів лабораторних робіт. Сервер обслуговує паралельно декілька клієнтських підключень. Це усуває необхідність очікування завершення сеансу зв'язку між іншими користувачами.



Рис.1 Організація доступу в віртуальній мультимедійній лабораторії

Кожна лабораторна робота складається з набору завдань, які потрібно виконати, та включає необхідний інструментарій для виконання цих завдань. Завдяки використанню технології Add-In (динамічного підключення модулів) при роботі над конкретним набором завдань користувач-студент має лише той набір функціональних можливостей, що потрібен для виконання саме цієї роботи. Це дозволяє зменшити кількість ресурсів, потрібних для виконання клієнтської програми.

Віртуальна мультимедійна лабораторія підтримує технологію локалізації ресурсів, що дозволяє налаштувати мову інтерфейсу програми в залежності від

вимог конкретного користувача. Крім цього можливе створення додаткових локалізацій, що значно розширює коло потенційних користувачів. Для організації доступу, як до даних, що стосуються самих лабораторних робіт, так і до даних, що стосуються користувачів, віртуальна мультимедійна лабораторія інтегрована з системою управління дистанційним навчанням Moodle [2], яка являє собою програмний продукт з відкритим кодом.

Серверна частина віртуальної мультимедійної лабораторії використовує для зберігання інформації базу даних, а також структуру даних системи Moodle. Це дозволяє інтегрувати віртуальну мультимедійну лабораторію з дистанційними курсами Moodle та забезпечує:

- ведення єдиного реєстру студентів (за рахунок використання єдиного логіну та паролю студент отримує доступ, як до лекцій та методичних матеріалів в системі Moodle, так і до лабораторних робіт у віртуальній мультимедійній лабораторії);
- комплексне планування навчального процесу (синхронізація у часі віртуальних лекцій, лабораторних занять та контрольних тестів);
- ведення єдиної бази результатів перевірки лабораторних робіт та тестів (виставлені викладачем оцінки доступні до перегляду студентам у відповідному модулі системи Moodle).

Клієнтська частина системи віртуальної мультимедійної лабораторії – це робоча область викладача та студента. Вона завантажується на робочий комп'ютер користувача та виконує роль оболонки для модулів конкретних лабораторних робіт, які підвантажуються в залежності від потреб користувача. Клієнтська частина розроблена виходячи з вимог модульності, яка досягається за рахунок технології AddIn, реалізованої в бібліотеках .NET Framework 3.5. Ця технологія дозволяє організовувати модульну структуру додатку і створювати нові модулі, незалежні від коду, описаного в основній програмі (хості). Хост слугує контейнером для модулів. В віртуальній мультимедійній лабораторії кожен модуль являє собою окрему лабораторну роботу. Таким чином, при розробці та вдосконаленні віртуальної мультимедійної лабораторії застосовується концепція плагінів, коли кожний плагін (модуль) реалізує свою функціональність, а базові операції, як то передача даних, з'єднання з базою даних, відслідковування прав доступу, виконуються власне самим ядром віртуальної мультимедійної лабораторії.

Застосування системи управління дистанційним навчанням Moodle

Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) – модульне динамічне об'єктно-орієнтоване середовище для навчання – є програмним продуктом для організації дистанційного навчання в мережі Internet. Система Moodle [4] використовується більш ніж в 167 країнах світу та включає 18493 зареєстрованих сайтів навчальних підрозділів з 6723094 користувачами та 647726 курсами (рис 2).

Значна перевага Moodle – широкий набір можливостей, в першу чергу для забезпечення засобів комунікації між студентом та викладачем. До найбільш поширених модулів відносяться:

- модуль завдань дає можливість викладачу визначити роботу, яку студенти повинні виконати в електронному вигляді. Для кожного завдання може бути визначений термін виконання та максимальна оцінка. Студенти можуть завантажувати виконані завдання на сервер (у будь-якому файловому форматі), а відповідь викладача приєднується до сторінки із завданням кожного студента, про що студенту надсилається повідомлення.

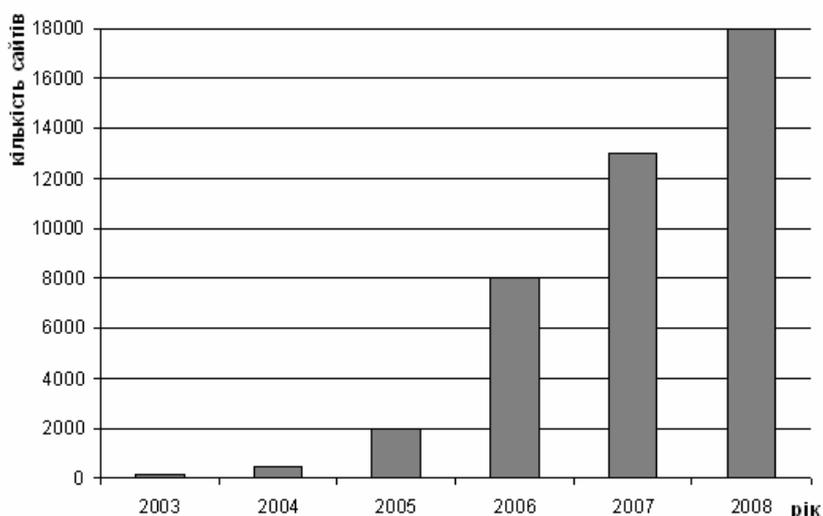


Рис 2. Статистика поширення Moodle у світі

- модуль тестів дає можливість викладачу створювати та проводити тести, що включають закриті запитання з багатьма варіантами відбору, питання типу „так/ні”, відкриті запитання, що потребують письмових коротких відповідей, завдання на співставлення, вбудовані описові тексти та графіку. Модуль тестів містить інструменти, що дають можливість об’єктивно оцінювати студентів за вибраним критерієм.

- модуль ресурсів підтримує відтворення будь-яких об’єктів (Word, PowerPoint, Flash, відео, звуки). Файли можуть керуватися з сервера чи створюватись за допомогою web-форм.

- модуль-словник дає можливість створювати електронну базу визначень. В словнику існує декілька способів пошуку та перегляду ключових слів. Важливою особливістю словника є можливість автоматичного генерування гіперпосилань на існуючі визначення та ключові слова в рамках певного дистанційного курсу.

- модуль форуму є одним з найважливіших, в ньому відбувається більшість обговорень, потоки дискусій можуть легко пересуватися викладачем між форумами. Модуль дозволяє створювати форуми новин (дошки об’яв) та дискусійні форуми (тут студенти можуть відкривати нові теми та давати відповіді у відкритих темах).

- модуль чату дозволяє синхронну текстову взаємодію; включає малюнки профайлів у вікні чату; підтримує URL, вбудований HTML та малюнки.

Система Moodle підтримує обмін файлами будь-яких типів. Існуючий сервіс розсилки дозволяє оперативно інформувати учасників навчального процесу про розклад та поточні події. Важливою особливістю Moodle є те, що сис-

тема створює і зберігає „портфоліо” кожного студента: тут накопичуються всі виконані студентом роботи, всі оцінки та коментарі викладача до робіт, всі повідомлення на форумі. Крім того, важливим є те, що викладач може створювати і використовувати в рамках дистанційного курсу будь-яку систему оцінювання. Всі відмітки по кожному курсу зберігаються в зведеній відомості.

Основні переваги системи Moodle:

- модульність, в тому числі наявність великого набору вбудованих модулів (форум, журнал, тест, ресурси, глосарій, анкета, завдання, чат, опитування);
- сумісність з усіма системами, які підтримають PHP та бази даних типу SQL;
- можливість роботи під найбільш поширеними операційними системами (Windows, MAC, Linux);
- простий та зручний інтерфейс, сумісний з основними web-браузерами;
- можливість локалізації (на сьогоднішній день доступні мовні пакети для 34 мов світу);
- захист інформації від несанкціонованого доступу (шифровані сесії, SSL, авторизація з LDAP);
- можливість контролю активності студентів та часу їх навчальної роботи в мережі;
- наявність автоматизованої системи рейтингової оцінки роботи студентів;
- можливість планування навчального процесу у часі, у тому числі можливість обмеження у часі доступу до окремих модулів та тестів;
- можливість використання аудіо та відео матеріалів та зовнішніх ресурсів.

Слід відзначити, що за своїми можливостями система Moodle не поступається відомим комерційним системам дистанційної освіти, але вигідно відрізняється від них тим, що розповсюджується безкоштовно з відкритим кодом – це дає можливість змінити систему відповідно до вимог конкретного навчального проекту, а при необхідності вбудувати в неї нові модулі.

Ущільнення графічних даних у віртуальній мультимедійній лабораторії

Віртуальна мультимедійна лабораторія передбачає застосування різноманітних мультимедіа-даних: в першу чергу зображень. Характерною особливістю мультимедійної інформації, і зокрема графічної інформації, є значні обсяги таких даних. Оскільки віртуальна мультимедійна лабораторія за самим принципом свого функціонування передбачає обробку та передавання великої кількості мультимедійної інформації, то очевидно, що проблема ущільнення цих даних є актуальною.

Тому при реалізації алгоритмів передачі графічних даних та обробки цих даних серверною або клієнтською частиною віртуальної мультимедійної лабораторії передбачено застосування модифікованого алгоритму JPEG-M, що дозволяє підвищити ефективність роботи з лабораторією за рахунок зменшення трафіку, оптимізації навантаження на сервер, і в кінцевому підсумку, прискорення процесу завантаження візуальної інформації, що відображається у клієнтській частині програмного комплексу.

Алгоритм JPEG [5] є найбільш поширеним серед алгоритмів ущільнення графічних даних. Дослідження цього алгоритму на різних типах зображень, попередньо проведене авторами, показало, що деякі з етапів класичного алгорит-

му JPEG можуть бути модифіковані з метою отримання кращої швидкодії та більшого ступеню ущільнення. В результаті було розроблено модифікований алгоритм JPEG-M, який складається з таких етапів:

1) усунення візуальної надлишковості – виконується шляхом заміни кодів кольорів сусідніх пікселів однаковим усередненим кодом:

$$D[i, j] = \frac{1}{9} \sum_{k=-1}^1 \sum_{q=-1}^1 D[i+k, j+q],$$

якщо $|D[i, j] - D[i+k, j+q]| \leq \delta$ ($k, q = [-1..1]$), де δ – задане значення.

2) перетворення зображення з кольорової моделі RGB в модель YCbCr [5];

3) поділ кожної з матриць зображення Y, Cr та Cb на підматриці розміром 8x8 елементів;

4) субдискретизація – полягає у відкиданні частини інформації про хроматичні компоненти кольору:

$$Cr'[i, j] = Cr[4i, 4j], \quad Cb'[i, j] = Cb[4i, 4j], \quad \text{де } i, j = [1..8].$$

5) перетворення Уолша [6] (застосовується замість дискретного косинусного перетворення – це дозволяє підвищити швидкість алгоритму в цілому);

6) квантування [5];

7) модифіковане „зигзаг” сканування – замість послідовного запису елементів матриць Y, Cr та Cb у результуючий вектор виконується запис першого елемента кожної матриці, потім другого елемента кожної матриці і так далі у порядку звичайного „зигзаг” сканування;

8) модифіковане кодування RLE – полягає у попередньому обчисленні ймовірного ступеню ущільнення та виборі способу кодування нульових елементів, що повторюються, з метою досягнення більшого ступеню ущільнення;

9) кодування Хафмена [5].

Таким чином, модифікований алгоритм JPEG-M відрізняється від класичного алгоритму JPEG усуненням візуальної надлишковості, застосуванням субдискретизації та перетворення Уолша, виконанням паралельного „зигзаг” сканування (замість звичайного) та ущільненням даних модифікованим алгоритмом RLE. Це вдосконалення дозволяє отримати підвищення ступеню ущільнення даних у 2-3 рази та досягти збільшення швидкодії алгоритму в середньому у 5-7 разів.

Висновки. Організація взаємодії віртуальної мультимедійної лабораторії з системою Moodle на рівні організації даних та доступу до спільних баз даних значно розширює можливості користувачів. Застосування модифікованого алгоритму JPEG-M для зменшення об'ємів графічних даних, що оброблюються та передаються по каналах зв'язку, дозволяє оптимізувати трафік та досягти більшої ефективності при організації роботи з віртуальною мультимедійною лабораторією великої кількості студентів одночасно.

Оскільки віртуальна мультимедійна лабораторія є ефективним засобом підтримки дистанційного навчання, то робота над нею продовжується. Зокрема розроблюються нові модулі, які призначені для забезпечення виконання лабораторних робіт з обробки звуку.

Список літератури

1. Gomes L., Garcia-Zubia J. "Advances on remote laboratories and e-learning experiences". University of Deusto, Bilbao, 2007.
2. Auer M., Pester A., Ursutiu D., Samoila C. "Distributed virtual and remote labs in engineering" // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, Maribor (Slovenia), Dec 2003, vol. 2, pp. 1208-1213.
3. Сулема Е.С., Радчук В.Д. "Разработка виртуальной мультимедийной лаборатории с использованием инструментальных средств Microsoft". // Сборник трудов международной конференции «Технологии Microsoft в теории и практике программирования», Санкт-Петербург (Россия), 2008.
4. Официальный web-сайт Moodle – <http://moodle.org>.
5. Wallace G.K. "The JPEG still picture compression standard" // Communication of ACM. Volume 34. Number 4, April 1991, pp.30-44.
6. М. А. Karagodin, A.N. Osokin. Image compression by means of Walsh transform. // The 8th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2002, pp. 173-175.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачевим В.В.
Надійшла до редакції 28.04.09*

УДК 621.39.004.021

© А. В. Гавриш, Н. М. Товстоног

УЧЕТ НЕЖЕСТКОСТИ КОНСТРУКЦИИ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Рассматриваются вопросы разработки математической модели вращательного движения космического аппарата, предназначенного для дистанционного зондирования Земли.

Розглядаються питання розробки математичної моделі обертового руху космічного апарату, що призначається для дистанційного зондування Землі.

The problems of the spacecraft mathematical model development of rotary movement which is intended for the Earth remote sounding are considered.

Введение. К точности ориентации указанных космического аппарата (КА) предъявляются высокие требования: порядка нескольких угловых минут для углов ориентации и около 10^{-4} °/с для угловых скоростей. Для обеспечения такой точности необходим учет широкого спектра возмущающих факторов, среди которых особое место занимает жесткость конструкции.

Анализ существующих достижений и публикаций. В работе [1] рассматривалась задача проведения оценки влияния жесткости панелей солнечных батарей (СБ) на его вращательное движение вокруг центра масс конструкции КА. Однако при этом не учитывалась жесткость силовой конструкции несущего корпуса КА.

Формулировка цели и задачи исследований. Целью работы является разработка математической модели движения КА вокруг центра масс с учетом жесткости конструкции солнечной батареи. В целях уточнения динамической

схемы рассматриваемой конструкции КА, поставлена задача разработки математической модели, учитывающей нежесткость конструкции всего КА, включая силовую схему его корпуса.

Изложение основного материала исследований. Расчет динамических характеристик СБ проведен по схеме пластинчато-стержневой системы с использованием пакета программ ANSYS. При этом определены частоты и формы пространственных совместных колебаний корпуса КА и панелей СБ. Расчеты проведены применительно к конкретной разработке КА.

Схемное изображение рассматриваемого КА приведено на рис. 1. К боковой стороне корпуса аппарата прикреплен поворотный механизм СБ, с электромеханическим приводом управления ее положением. СБ состоит из четырех панелей, соединенных между собой поворотными механизмами (см. рис. 2).

Расчетная схема СБ выбрана в виде условного консольного стержня, расположенного вдоль ее оси вращения. Стержень имеет те же массово - инерционные характеристики, что и СБ. На основе динамических характеристик СБ (частот и форм собственных колебаний) получены формулы для расчета коэффициентов взаимного влияния корпуса КА и СБ.

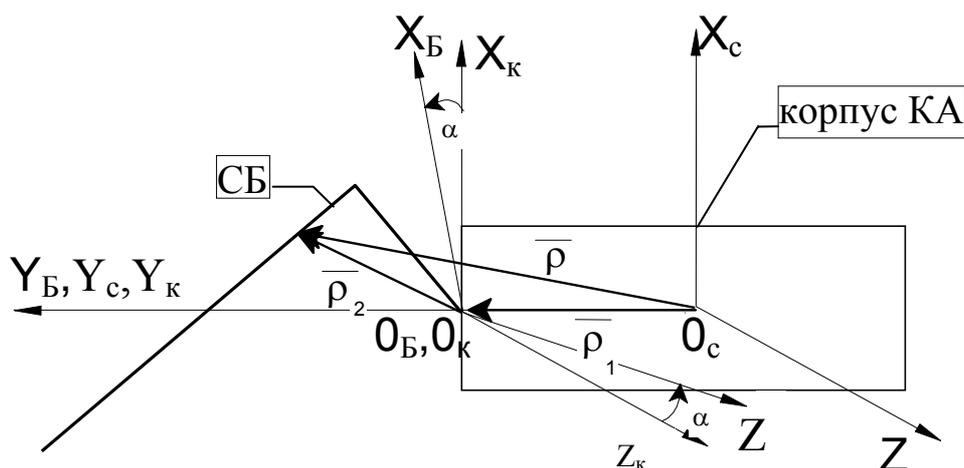


Рис. 1. Положение систем координат.

Математическая модель КА с учетом упругости СБ

При разработке математической модели использованы следующие правые ортогональные системы координат:

$O_c X_o Y_o Z_o$ - орбитальная система координат (ОСК), начало O_c расположено в центре масс КА, ось $O_c Z_o$ направлена по текущему радиусу-вектору орбиты, ось $O_c X_o$ перпендикулярна оси $O_c Z_o$ и направлена в сторону полета;

$O_b X_b Y_b Z_b$ - связанная с СБ система координат (БСК), начало O_b расположено в точке крепления СБ к КА, $O_b Y_b$ - ось вращения СБ, $O_b X_b$ поперечная ось, направленная в сторону Солнца;

$O_c X_c Y_c Z_c$ - связанная система координат (ССК), в ориентированном состоянии аппарата ССК совпадает с ОСК.

При отклонении КА от идеальной ориентации положение ССК относительно ОСК определяется последовательными поворотами КА на углы рыскания ψ , тангажа θ и крена φ соответственно. В исходном состоянии оси БСК совпадают по направлению с осями ССК, в рабочем состоянии БСК повернута вокруг оси O_6Y_6 на угол α .

В статье приведены результаты работ, выполненные при следующих условиях:

- деформируемой считается вся конструкция СБ (траверса и панели);
- при составлении математической модели КА упругие колебания СБ представлены в виде изгибных и крутильных колебаний условного стержня, полученного проецированием сечения СБ плоскостью $O_6X_6Y_6$ на ось вращения O_6Y_6 ;
- формы колебаний условного стержня определяются при помощи пакета ANSYS для узлов конечноэлементной модели конструкции СБ, расположенных в плоскости $O_6X_6Y_6$;
- для рассматриваемых тонов колебаний СБ средствами визуализации пакета ANSYS получены виды деформаций конструкции, а также условного стержня, на основании которых колебательные движения рассортированы по принятым для стержневых расчетных схем видам колебательных движений - изгибные в плоскостях $O_6X_6Y_6$, $O_6Y_6Z_6$ и крутильные вокруг оси O_6Y_6 , что соответствует деформациям блока панелей СБ из плоскости, в плоскости и вокруг продольной оси соответственно.

Динамические уравнения движения КА относительно центра масс с учетом упругости СБ имеют вид [2]

$$\begin{aligned} & \bar{I} \cdot \dot{\bar{\omega}}_{cu} + \bar{\omega}_{cu} \times \bar{I} \cdot \bar{\omega}_{cu} + \sum_{i=1}^{n_u} \bar{G}_{ui} \cdot \dot{q}_i + \sum_{i=1}^{n_g} \bar{G}_{vi} \cdot \dot{p}_i + \sum_{i=1}^{n_k} \bar{G}_{ki} \cdot \dot{r}_i + \\ & + \bar{\omega}_{cu} \times \left(\sum_{i=1}^{n_u} \bar{G}_{ui} \cdot q_i + \sum_{i=1}^{n_g} \bar{G}_{vi} \cdot p_i + \sum_{i=1}^{n_k} \bar{G}_{ki} \cdot r_i \right) = \bar{M}_\Sigma, \\ & \bar{G}_{ui} \cdot \dot{\bar{\omega}}_{cu} + m \cdot \dot{q}_i + \varepsilon_{ui} \cdot \dot{q}_i + c_{ui} \cdot q_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n_u), \\ & \bar{G}_{vi} \cdot \dot{\bar{\omega}}_{cu} + m \cdot \dot{p}_i + \varepsilon_{vi} \cdot \dot{p}_i + c_{vi} \cdot p_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n_g), \\ & \bar{G}_{ki} \cdot \dot{\bar{\omega}}_{cu} + J \cdot \dot{r}_i + \varepsilon_{ki} \cdot \dot{r}_i + c_{ki} \cdot r_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n_k). \end{aligned} \quad (1)$$

где $\bar{\omega}_{cu}, \dot{\bar{\omega}}_{cu}$ - векторы абсолютной угловой скорости и ускорения КА, соответственно, c^{-1}, c^{-2} ; \bar{I} - тензор инерции КА, $\text{кгс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; \bar{M}_Σ - вектор суммарного момента, действующего на КА, $\text{кгс} \cdot \text{м}$; $\bar{G}_{ui}, \bar{G}_{vi}, \bar{G}_{ki}$ - векторы коэффициентов взаимного влияния корпуса КА и СБ при рассмотрении изгибных (в направлении осей O_6Z_6 и O_6X_6) и крутильных (вокруг оси O_6Y_6) колебаний СБ соответственно, $\text{кгс} \cdot \text{с}^2, \text{кгс} \cdot \text{с}^2, \text{кгс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; i - номер тона колебаний СБ; q_i, p_i, r_i - обобщенные координаты i -го тона изгибных и крутильных колебаний СБ соответственно, м, м, рад; n_u, n_g, n_k - количество учитываемых тонов изгибных и крутильных колебаний СБ соответственно; $\varepsilon_{ui}, \varepsilon_{vi}, \varepsilon_{ki}$ - коэффициенты демпфирования упругих колебаний СБ соответственно, $\text{кгс} \cdot \text{с}/\text{м}, \text{кгс} \cdot \text{с}/\text{м}, \text{кгс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$; c_{ui}, c_{vi}, c_{ki} - коэффициенты упру-

гости СБ, кгс/м, кгс/м, кгс·м; m, J - масса и момент инерции СБ относительно оси O_6Y_6 , соответственно, кгс·с²/м, кгс·м·с².

Кинематические уравнения для КА представлены в виде

$$\begin{pmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\vartheta} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = \frac{1}{\cos \vartheta} \begin{pmatrix} \cos \vartheta & \sin \vartheta \cdot \sin \varphi & \sin \vartheta \cdot \cos \varphi \\ 0 & \cos \vartheta \cdot \cos \varphi & -\cos \vartheta \cdot \sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \cdot \bar{\omega}_{CO}, \quad (2)$$

где $\bar{\omega}_{CO}$ - вектор угловой скорости КА относительно ОСК.

Векторные коэффициенты $\bar{G}_{ui}, \bar{G}_{vi}, \bar{G}_{ki}$, входящие в уравнения (1), в общем случае определяются выражением (в ССК) [2].

$$\bar{G}_i^{(c)} = \int_m \bar{\rho}^{(c)} \times \bar{U}_i^{(c)} dm, \quad (3)$$

где $\bar{\rho}^{(c)}$ - радиус - вектор, соединяющий центр масс КА с произвольной точкой деформируемой СБ; $\bar{U}_i^{(c)}$ - вектор, характеризующий деформации СБ.

Радиус - вектор $\bar{\rho}^{(c)}$ согласно рис. 1 можно представить в виде двух составляющих

$$\bar{\rho}^{(c)} = \bar{\rho}_1^{(c)} + T_{c\bar{b}} \cdot \bar{\rho}_2^{(\bar{b})},$$

где $\bar{\rho}_1^{(c)}$ - радиус - вектор, соединяющий центр масс КА с точкой крепления траверсы к корпусу в ССК; $\bar{\rho}_2^{(\bar{b})}$ - радиус - вектор, соединяющий точку крепления траверсы к корпусу КА с произвольной точкой СБ в БСК; $T_{c\bar{b}} = T_{c\bar{b}}^T$;

$$T_{\bar{b}c} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix} - \text{матрица перехода от ССК к БСК};$$

α - угол поворота СБ вокруг оси O_6Y_6 (при отслеживании направления на Солнце).

Согласно принятой динамической схеме КА, при определении значений коэффициентов (3) СБ заменяется условным стержнем, расположенным вдоль оси O_6Y_6 . При описании изгибных колебаний такого стержня можно записать

$$\bar{\rho}_2^{(\bar{b})} = \begin{pmatrix} 0 \\ y \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \bar{U}_i^{(\bar{b})} = \begin{pmatrix} \varphi_{i_x}(s) \\ 0 \\ \varphi_{i_z}(s) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $\varphi_{i_x}(s), \varphi_{i_z}(s)$ - формы изгибных колебаний условного стержня в плоскостях $O_6X_6Y_6$ и $O_6Y_6Z_6$ соответственно, полученные с применением возможностей пакета ANSYS.

Подставив (4) в (3) и введя обозначения

$$n_{i_x} = \int_0^1 \varphi_{i_x}(s) ds, n_{i_z} = \int_0^1 \varphi_{i_z}(s) ds, d_{i_x} = \int_0^1 s \cdot \varphi_{i_x}(s) ds, d_{i_z} = \int_0^1 s \cdot \varphi_{i_z}(s) ds,$$

получим выражения для коэффициентов, входящих в (1),

$$\begin{aligned} \bar{G}_{ui}^{(c)} &= m \cdot (\bar{\rho}_l \times n_{i_x} \cdot \bar{a}_l^{(c)} - l \cdot d_{i_x} \cdot \bar{a}_3^{(c)}) \quad (i = 1, 2, \dots, n_u), \\ \bar{G}_{vi}^{(c)} &= m \cdot (\bar{\rho}_l \times n_{i_z} \cdot \bar{a}_3^{(c)} - l \cdot d_{i_z} \cdot \bar{a}_l^{(c)}) \quad (i = 1, 2, \dots, n_v), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\bar{a}_l^{(c)}$, $\bar{a}_3^{(c)}$ - первый и третий векторы - столбцы матрицы Γ_{cb} соответственно; l - длина условного стержня.

Для крутильных колебаний условного стержня вокруг продольной оси O_6Y_6 получим

$$\bar{\rho}_2^{(\delta)} = \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix}, \bar{U}_i^{(\delta)} = \begin{vmatrix} z \\ 0 \\ -x \end{vmatrix} \cdot \theta_{i_y}(s), n_i = \int_0^1 \theta_{i_y}(s) ds,$$

где $\theta_{i_y}(s)$ - формы крутильных колебаний условного стержня, полученные с использованием пакета ANSYS.

Тогда выражение для коэффициента \bar{G}_{ki} , входящего в (1), запишется в виде:

$$\bar{G}_{ki}^{(c)} = J \cdot n_i \cdot \bar{a}_2^{(c)} \quad (i = 1, 2, \dots, n_k), \quad (6)$$

где $\bar{a}_2^{(c)}$ - второй вектор - столбец матрицы Γ_{cb} .

Из внешних моментов, входящих в \bar{M}_Σ , учитывается только гравитационный момент \bar{M}_Γ

$$\bar{M}_\Gamma = \frac{3\mu}{r^3} \bar{k} \times \bar{J} \cdot \bar{k},$$

где \bar{k} - третий вектор-столбец матрицы перехода от ОСК к ССК; μ - гравитационная постоянная Земли; \bar{r} - текущий радиус-вектор орбиты.

Угол α , определяющий поворот СБ при отслеживании направления на Солнце, вычисляется как круговой арксинус на основании следующих выражений:

$$\sin \alpha = -\frac{e_z}{\sqrt{1 - e_y^2}}, \quad \cos \alpha = \frac{e_x}{\sqrt{1 - e_y^2}},$$

где $e_s = |e_x, e_y, e_z|^T$ - единичный орт, направленный из центра Земли в центр Солнца.

Значения коэффициентов демпфирования ε_{ui} , ε_{vi} , ε_{ki} и упругости c_{ui} , c_{vi} , c_{ki} , входящих в уравнения (1), определяются по формулам [3]

- для изгибных колебаний:

$$\varepsilon_i = \frac{4 \cdot m \cdot \ln \eta \cdot f_i}{\sqrt{1 + \frac{(\ln \eta)^2}{\pi^2}}}, c_i = 4 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot f_i^2, \quad (7)$$

- для крутильных колебаний:

$$\varepsilon_i = \frac{4 \cdot J_{\bar{6}} \cdot \ln \eta \cdot f_i}{\sqrt{1 + \frac{(\ln \eta)^2}{\pi^2}}}, c_i = 4 \cdot \pi^2 \cdot J_{\bar{6}} \cdot f_i^2, \quad (8)$$

где $\ln \eta = 0,01$ - логарифмический декремент колебаний; f_i - частота колебаний i -го тона.

Результаты расчетов

Расчет динамических характеристик СБ проводится методом конечных элементов по схеме пластинчато-стержневой системы с использованием пакета ANSYS.

Форма собственных колебаний СБ по первому тону показана на рис. 2 (более светлыми линиями показаны контуры СБ до деформации). Были получены значения частот f_i первых 6-ти тонов колебаний.

Для расчета значений интегралов n_{ix} , n_{iz} , d_{ix} , d_{iz} , n_i , входящих в выражения (5) и (6), использованы формы колебаний φ_{ix} , φ_{iz} , θ_{iy} условного стержня. Рис. 3 иллюстрирует формы колебаний для четвертого тона.

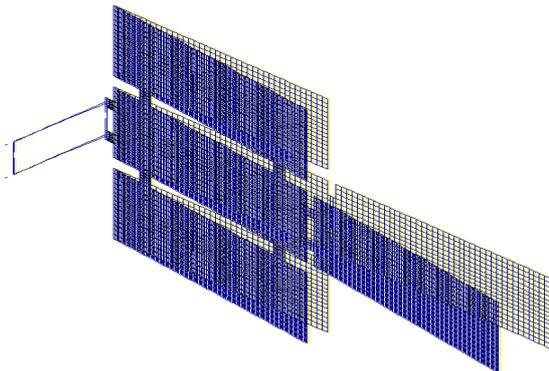


Рис. 2. Вид деформации СБ по 1 тону

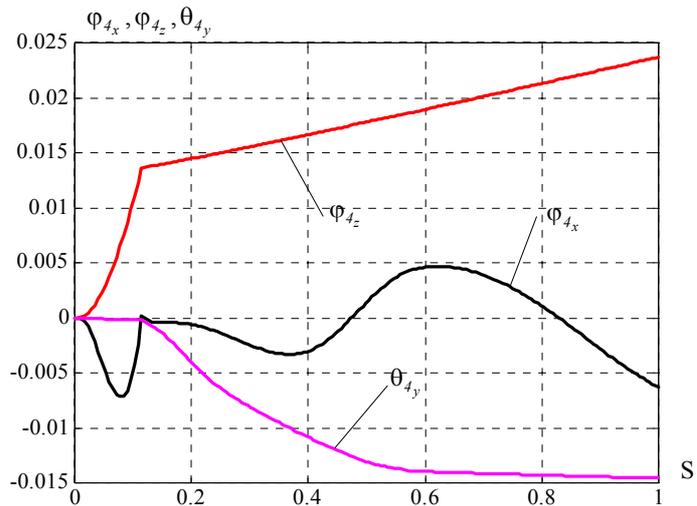


Рис. 3. Формы колебаний по 4 тону

Анализ таких кривых по 6 - ти тонам показал, что формы по 1, 3, 5, 6-му тону являются изгибными в направлении оси O_6X_6 . Форма по 2-му тону является изгибной в направлении оси O_6Z_6 . Из рис. 3 видно, что по 4 - му тону присутствуют все три формы φ_{4x} , φ_{4z} , θ_{4y} .

Значения интегралов n_{ix} , n_{iz} , d_{ix} , d_{iz} , n_i и частоты f_i , полученные при проведении анализа в среде пакета ANSYS, представлены в табл. 1.

Приведенные в табл. 1 данные позволяют рассортировать колебания СБ на изгибные (в направлении осей O_6X_6 и O_6Z_6) и крутильные (вокруг оси O_6Y_6). С учетом этого введена новая нумерация и обозначения частот: f_{ui} , f_{ei} , f_{ki} , где $i = 1, 2, \dots, 5$. Для этих частот по формулам (7), (8) определены коэффициенты демпфирования ε_{ui} , ε_{ei} , ε_{ki} и упругости c_{ui} , c_{ei} , c_{ki} . Значения этих коэффициентов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения интегралов n_{ix} , n_{iz} , d_{ix} , d_{iz} , n_i и частоты f_i .

Параметр	Номер тона колебаний					
	1	2	3	4	5	6
f_i	0,6393	0,9799	2,9898	3,5839	4,6181	8,1274
n_{ix}	-0,7411	0,0024	0,0646	-0,0005	-0,6087	0,1811
d_{ix}	-0,5286	0,0002	-0,0798	-0,0001	-0,3935	0,0756
n_{iz}	0	-0,8986	0	0,0169	-0,0001	0,0002
d_{iz}	0	-0,6325	0	0,0098	-0,0001	0
n_i	0	-0,0025	-0,0001	-0,0100	-0,0002	0,0002

Таблица 2

Коэффициенты демпфирования ε_{ui} , ε_{vi} , ε_{ki} и упругости c_{ui} , c_{vi} , c_{ki} .

№ тона	Изгибные колебания в плоскости $O_b X_b Y_b$			Изгибные колебания в плоскости $O_b X_b Z_b$			Крутильные колебания вокруг оси $O_b Y_b$		
	f_{ui} , Гц	ε_{ui} , кгс с/м	$c_{ui} \cdot 10^3$, кгс/м	f_{vi} , Гц	ε_{vi} , кгс с/м	$c_{vi} \cdot 10^3$, кгс/м	f_{ki} , Гц	ε_{ki} , кгс м с	$c_{ki} \cdot 10^3$, кгс м
1	0,6393	0,1408	0,0089	0,9799	0,2158	0,2087	3,5839	0,4587	1,6226
2	2,9898	0,6583	0,1943	3,5839	0,7891	2,7912			
3	3,5839	0,7891	0,2791						
4	4,6181	1,0168	0,4635						
5	8,1274	1,7895	1,4354						

Примечание: Выражения типа $c_{ui} \cdot 10^3$ означают, что табличные значения умножаются на 10^3 .

Для изучения влияния упругих колебаний СБ на динамические характеристики (углы ориентации и угловые скорости) КА на ЭВМ была промоделирована динамика движения КА вокруг центра масс.

Интегрирование системы уравнений (1) было проведено с учетом двух изгибных и одной крутильной форм колебаний СБ для следующих исходных данных:

- тензор инерции КА

$$\bar{\bar{J}} = \begin{vmatrix} 82,1 - 0,3 \cdot \sin^2 \alpha & 2,3 \cdot \cos \alpha & -0,3 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \\ 2,3 \cdot \cos \alpha & 8,5 & -2,3 \cdot \sin \alpha \\ -0,3 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha & -2,3 \cdot \sin \alpha & 81,9 + 0,3 \cdot \sin^2 \alpha \end{vmatrix}, \text{ кгс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2;$$

- момент инерции СБ относительно оси вращения $J_b = 3,2 \text{ кгс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$;

- масса СБ $m = 54 \text{ кгс}$;

- расстояние от центра масс КА до точки крепления СБ $\rho_1 = 1,18 \text{ м}$;

- длина условного стержня $l = 3,96 \text{ м}$;

- высота солнечно-синхронной орбиты $h = 600 \text{ км}$;

- наклонение орбиты $i = 98^\circ$.

Начальные условия для интегрирования:

- по углам $\varphi(0) = \theta(0) = \psi(0) = 0$;

- по угловым скоростям $\omega_x(0) = \omega_z(0) = 0$, $\omega_y(0) = \omega_0$, где ω_0 - средняя орбитальная угловая скорость;

- по обобщенным координатам $q_1(0) = p_1(0) = r_1(0) = 0$,
 $\dot{q}_1(0) = \dot{p}_1(0) = \dot{r}_1(0) = 0$.

Результаты расчетов показали, что влияние нежесткости СБ проявляется в виде "дрожания" аппарата.

В целях уточнения динамической схемы КА, рассмотренной в настоящей статье, была рассмотрена математическая модель, учитывающая нежесткость конструкции всего КА. Такой учет позволяет производить оценку смещений посадочной площадки для установки исследовательской аппаратуры за счет деформируемости не только конструкции СБ но и корпуса КА. Расчет проводился с использованием метода конечных элементов по схеме пространственной пластинчатой конструкции, с включениями 3-х мерных твердотельных частей. При этом динамические характеристики совместных колебаний КА и СБ (частоты и формы собственных пространственных колебаний) получены с применением модального (MODAL) типа анализа, проведенного в среде прикладного пакета ANSYS. Были получены формы и частоты первых десяти тонов собственных колебаний. На рис. 4 показана форма колебаний для девятого тона колебаний (пунктиром показаны контуры КА и СБ до деформации).

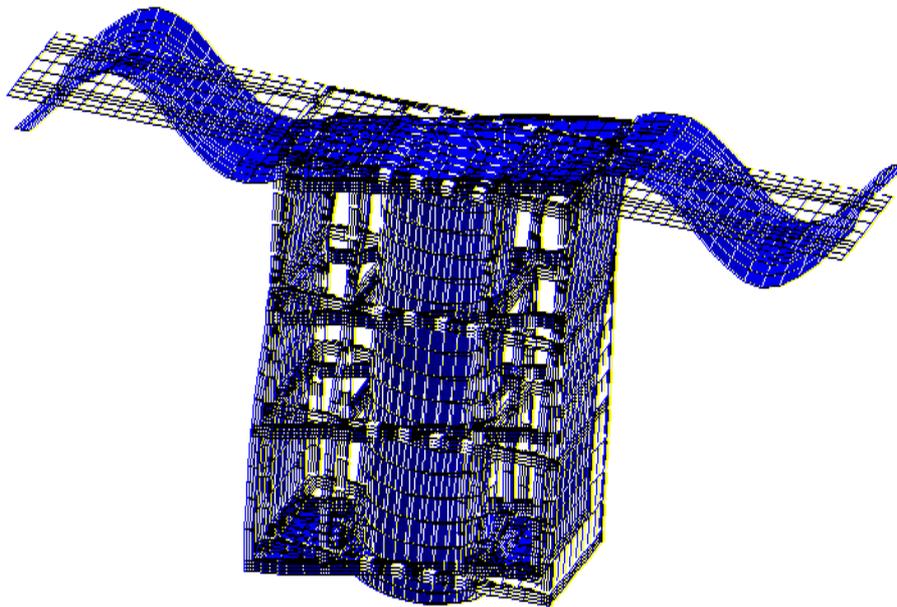


Рис. 4. Форма деформации по девятому тону колебаний. Частота $f = 57.749$ Гц.

Выводы

1. Предложен метод учета нежесткости конструкции СБ в математической модели вращательного движения космического аппарата.
2. Приведены результаты расчетов, иллюстрирующие практическую приемлемость предложенного метода.

Список литературы

1. О математической модели вращательного движения нежесткого спутника /Гавриш А. В., Хорошилов В. С., Иванова Г. А. и др.. //Сб. научн.тр. XXVI Научных Чтений по Космонавтике, Секц. «Прикладная небесная механика и управление движением». – М. – 2002
2. Лурье А. И. Аналитическая механика. -М.: ГИФМЛ, 1961г. - 824с.
3. Лойцянский Л. Г., Лурье А. И. Курс теоретической механики. Т. 2, -М.: ГИТТЛ.-1955г. -595с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.
Надійшла до редакції 16.04.09*

УДК 528.854

© І.М. Гаркуша, О.В. Грищенко

КЛАСИФІКАЦІЯ ТИПІВ ЗЕМНОГО ПОКРИТТЯ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНОГО КОСМОЗНІМКУ ЗАСОБАМИ MULTISPEC

Приведены основные результаты исследования классификации в среде MultiSpec фрагмента космического снимка со спутника Landsat-5 г. Днепропетровска и прилегающей территории с использованием данных NDVI и температуры подстилающей поверхности.

Приведені основні результати дослідження класифікації в середовищі Multispec фрагмента космічного знімка з супутника Landsat-5 м. Дніпропетровська та прилеглої території з використанням даних NDVI і температури підстилаючої поверхні.

The basic results of research of classification are resulted in the environment of Multispec of fragment of space picture with Landsat-5 of Dnepropetrovsk and adjoining territory with the use of information of NDVI and temperatures of laying surface.

Вступ. З погіршенням екологічної ситуації в Україні актуальними є заходи по проведенню моніторингу і оперативного рішення різних негативних дій діяльності людини на навколишнє середовище. Здешевлення процесу здобуття даних космічної зйомки привело до активного її використання при оцінці екологічної ситуації. Одним з важливих елементів обробки космознімків є класифікація об'єктів по класу/типу земного покриття з метою подальшого аналізу території і тематичного картографування, у тому числі, екологічного. Існуючі методи класифікації пропонують широкий спектр різних особливостей. У даній статті наведений короткий опис найширше використовуваних при обробці космознімків методів в контексті вільно поширюваної системи обробки Multispec.

Робота проводилася в рамках гранту № USB1-021-DP-07 Фонду цивільних досліджень та розвитку США (CRDF).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження був експеримент по класифікації типів земного покриття багатоспектрального космознімка міста Дніпропетровська та прилеглої території за даними нормалізованого різницевого вегетаційного індексу (Normalized Difference Vegetation Index, *NDVI*) і абсолютної температури поверхні.

У завдання дослідження входили: огляд особливостей методів класифікації, що входять до складу програми Multispec версії 3.1; створення на мові С++ програми візуалізації двовимірного поля ознак за даними Multispec; створення карт *NDVI* та розподілу абсолютної температури за даними багатоспектрального сканера Landsat-5 (ТМ).

Збір даних. Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу отримують в процесі реєстрації сканером електромагнітної енергії в різних піддіапазонах спектру. Збір таких даних проводиться в декількох, порівняно невеликих, областях спектру, що мають назву атмосферних вікон [1]. Датчики багатоспектральних сканерів ДЗЗ мають спектральну роздільну здатність близько 0,1 мкм та представляють отримані дані в окремих каналах. Найбільш відомими багатоспектральними сканерами, що використовують для реєстрації відображеного від об'єктів земної поверхні електромагнітного випромінювання, є сканери супутників серії Landsat. Так, наприклад, характеристики сканера ТМ (Thematic Mapper), встановленого на борту функціонуючого супутника Landsat-5, представлені в табл. 1.

Дані кожного каналу багатоспектрального сканера є цифровим зображенням f . По суті це матриця значень $f(x,y)$ для кожного окремого елемента земної поверхні, який реєструється датчиком сканера. Часто значення в матриці знаходяться в діапазоні від 0 до 255. Проте це не завжди так – діапазон значень $f(x,y)$ може бути іншим. В цьому випадку для правильного відображення зображення на екрані монітора значення приводять до діапазону 0 – 255 (яскравість пікселя).

Таким чином, маємо що кожен піксель кожного каналу багатоспектральної зйомки представлений вектором вимірів X :

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix},$$

де x_i – значення в i -му каналі сканера.

Таблиця 1

Характеристика сканера ТМ (супутник Landsat-5)

№ каналу зйомки	Діапазон реєструемого випромінювання, мкм	Просторова роздільна здатність, м
1 (Blue)	0,45 – 0,52	30
2 (Green)	0,52 – 0,60	
3 (Red)	0,63 – 0,69	
4 (NIR)	0,76 – 0,90	
5 (SWIR)	1,55 – 1,75	120
6 (TIR)	10,40 – 12,50	
7 (SWIR)	2,08 – 2,35	

Особливості класифікації. Оскільки відбивні властивості в різних об'єктів на земній поверхні різні, то цей факт приводить і до різних варіантів векторів вимірів X , що у свою чергу дає можливість віднесення об'єкту по встановлених критеріях до певних класів. Як відомо, наприклад з [2], розділення даної сукупності об'єктів або явищ на однорідні групи називається класифікацією. Перехід від того, що характеризує стан або функціонування деякої сукупності об'єктів початкового масиву даних до істотно більш зменшеного набору складає суть процесу зниження розмірності. При цьому відбір з числа початкових або побудованих за допомогою деякого їх перетворення проводять з мінімізацією втрати інформації.

У методах аналізу багатоспектральних космічних зображень для зниження розмірності використовують різні відношення та комбінації даних з різних каналів сканера, що мають певний сенс. Одним з широко використовуваних на практиці відношень є $NDVI$, заснований на тій властивості що здорова зелена рослинність в ближній інфрачервоній (ІЧ) смузі спектру відображає більше енергії, чим в червоному видимому піддіапазоні зйомки. Цей показник обчислюють за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red},$$

де NIR , Red – значення в ближній ІЧ та червоної смугах спектру відповідно.

Значення $NDVI$ знаходяться в діапазоні від -1 до +1 і для здорової зеленої рослинності будуть більше 0,4 одиниць. Наявність на космознімку зон з подібними значеннями $NDVI$ свідчить про наявність зволжених ґрунтів та водних горизонтів, що розташовані близько до поверхні землі.

Для розрахунку $NDVI$ за даними сканера ТМ використовують 4-й (NIR) і 3-й (Red) канали.

Існує також ряд інших індексів ґрунтів [3], які широко використовують при проведенні процедур класифікації.

Важливим показником, що характеризує тип земного покриття, є властивість накопичувати, зберігати та віддавати тепло. Багато сканерів зйомки дозволяють реєструвати випромінювання від поверхні землі в тепловому ІЧ каналі. При використанні відомих методик [4] значення теплового каналу сканера може бути перераховане в абсолютні значення температури, що дасть дослідникові додаткову інформацію про тип земного покриття. Так, наприклад, якщо значення $NDVI$ об'єкту “сільськогосподарське поле” складає менше 0,1 та значення температури значно вище 25°C в один з теплих днів кінця серпня, то це говорить про те, що ґрунт на досліджуваній ділянці практично не містить рослинності і є сухим, добре прогрітим сонячними променями.

Окрім багатоспектральної може бути проведені й інші види зйомок наприклад, гіперспектральна та радарна. Такі зйомки дадуть додаткову корисну інформацію. Наприклад, дані радарної зйомки, яка виконана в різних піддіапазонах та з різною поляризацією, служать додатковими даними до $NDVI$ і температури в процесі розрізнення типів земного покриття, класифікації.

Завдання класифікації в ДЗ є одним з важливих, оскільки, якщо вона виконана з певним ступенем точності, то дозволяє вирішувати широке коло завдань дешифрування, моніторингу, оцінки ефективності використання сільськогосподарських земель, тематичного картографування і ін.

Розрізняють два типи класифікації: без навчання (що є неконтрольована) та з навчанням (контрольована).

Відомо, що методи контрольованої класифікації враховують апріорну інформацію про типи об'єктів і вірогідності їх уявлення даними знімка, еталонних значень спектральних характеристик цих об'єктів. В процесі проведення такої класифікації значення яскравості поточного пікселя порівнюються з еталонними і на підставі цього порівняння піксель відноситься до найбільш відповідного класу об'єктів. Після проведення класифікації за наявними наземними даними оцінюється якість проведеної класифікації. Зазвичай така класифікація застосовується, коли класи об'єктів добре помітні на зображенні і їх число більше 25 [5].

Алгоритми класифікації, що є неконтрольованою, які також називають алгоритмами кластеризації, зазвичай застосовують за відсутності апріорної інформації про об'єкт зйомки [5].

Основними методами, що використовують алгоритми контрольованої класифікації, є: метод паралелепіпедів, метод класифікації за мінімальною відстанню та метод за правилом максимальної правдоподібності.

Важливим елементом дослідження є вибір програмної складової для проведення процесу класифікації. Слід зазначити, що існує велика безліч програм і утиліт для вирішення цього завдання.

В якості основного інструменту дослідження була вибрана вільно поширювана програма Multispec, яка розроблена Purdue Research Foundation для досліджень даних ДЗЗ в школах і університетах миру.

У системі Multispec є інструменти для виконання вищезгаданих двох типів класифікацій. При класифікації з навчанням пропонується шість алгоритмів, що реалізують наступні методи.

1. Метод максимальної правдоподібності – враховується кореляції між значеннями яскравості в різних спектральних зонах; кордон між класами в багатовимірному полі ознак може бути нелінійним.

2. Метод лінійного аналізу дискримінанта (Фішера) – враховуються кореляції між значеннями яскравості в різних спектральних зонах; кордон між класами в багатовимірному полі ознак приймається лінійним.

3. Метод мінімальної відстані – для віднесення пікселя до класу використовується мінімальна евклідова відстань між центрами (середніми значеннями яскравості) повчальних вибірок; кореляції між значеннями яскравості в різних спектральних зонах не враховуються.

4. Метод спектрально-просторової класифікації ЕСНО (Extraction and Classification of Homogeneous Objects – розпізнавання і класифікація однорідних об'єктів) – враховуються не лише спектральні характеристики знімка (по методу лінійного дискримінанта Фішера або максимальної правдоподібності) але і просторова однорідність створюваних класів.

5. Метод спектральної кореляції SAM (Spectral Angle Mapper – картографування спектральної кореляції).

6. Метод “порівняння фільтру” (на базі CEM – Constrained Energy Minimisation, обмеженої/умовної мінімізації енергії) – використовується для класифікації за гіперспектральними знімками.

З алгоритмів класифікації без навчання Multispec пропонує алгоритм швидкого виділення кластерів та ітеративний алгоритм ISODATA.

Аналіз двовимірною поля ознак. Початковими даними для дослідження був фрагмент багатоспектрального космознімка міста Дніпропетровська та прилеглих територій, який отриманий з супутника Landsat-5 сканером TM (зйомка 18.09.2007). За даними каналів зйомки були побудовані карти розподілу *NDVI* та абсолютної температури в $^{\circ}\text{C}$.

На підставі інформації про територію міста Дніпропетровська, прилеглі території, а також розраховані температурні показники, запропоновані наступні класи з еталонними ділянками (табл. 2).

Таблиця 2

Класи для класифікації з навчанням фрагмента космознімка з супутника Landsat-5 (TM) м. Дніпропетровська та прилеглих територій

№ n/n	Назва класу	Кількість еталонних полів
1.	Hot Field (нагріті с/г поля)	6
2.	Plant (корпуси підприємств з високою температурою)	9
3.	Cold area (зони з невисокою температурою)	3
4.	Forest (лісові масиви)	5
5.	Water (водна поверхня)	6

У середовищі Multispec за допомогою відповідних інструментів було створено 29 еталонних ділянок, віднесених у вказані класи (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент космознімка з супутника Landsat-5 (TM) з певними еталонними полями класів (див. табл. 2)

Оцінити якість повчальних вибірок можна по діаграмах двовимірного поля ознак (рис. 2), що представляє графік, на якому показані значення яскравості для пікселів в двох спектральних зонах або за двома показниками – в даному випадку по значеннях *NDVI* та абсолютній температурі. Такий графік дозволяє наочно представити угруповання пікселів по значеннях і кореляцію між спектральними зонами або вказаними двома показниками.

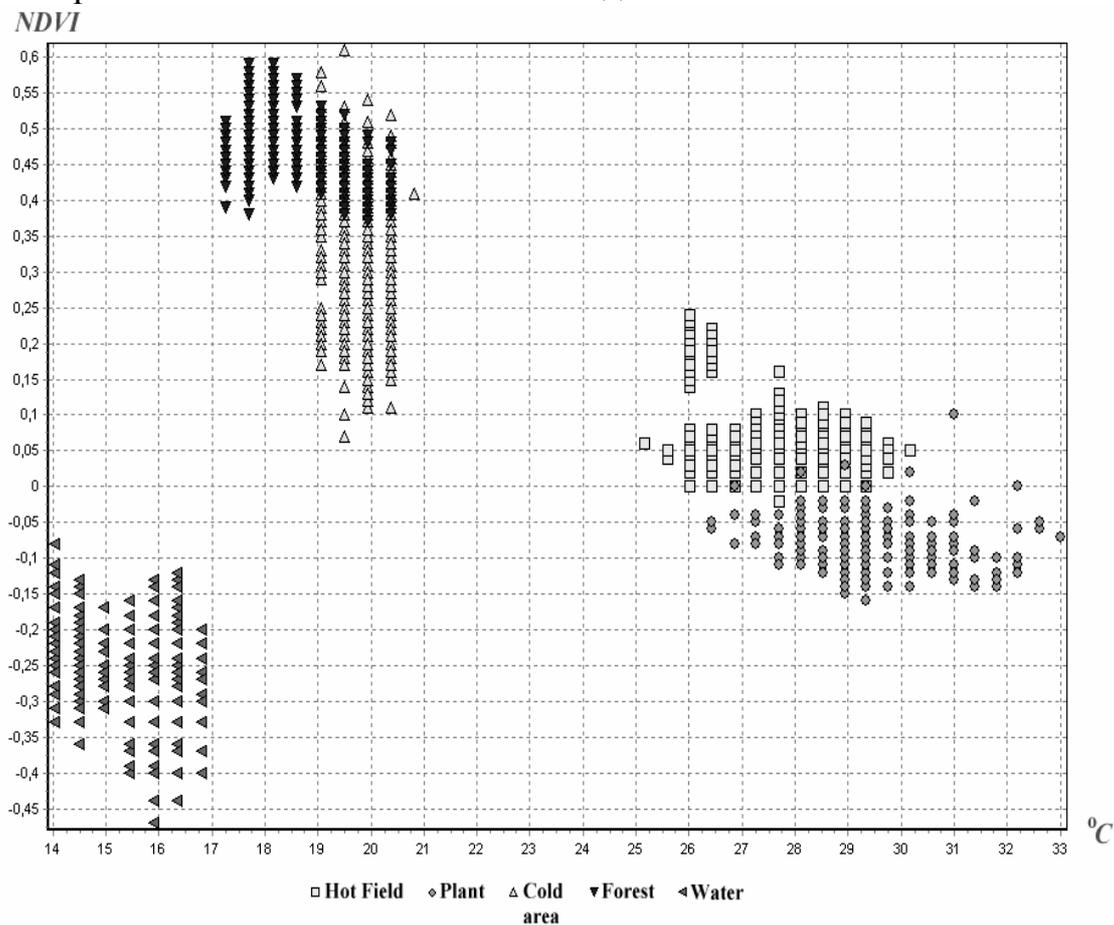


Рис. 2. Двовимірне поле ознак

Програмні інструменти Multispec не дозволяють будувати графіки двовимірного поля ознак – вихідні дані представлені у вигляді таблиці. Надалі такі дані можуть бути використані для побудови двовимірного поля ознак, наприклад, в програмі MS Excel або ж у власній програмі. На рис. 2 представлено двовимірне поле ознак, яке побудоване в спеціально розробленій для цих цілей програмі.

З рис. 2 видно, що дуже добре розділяються класи “Water”, а також “Forest і Cold area” від “Hot Field і Plant”. За рахунок різниці в значеннях *NDVI* можна розділити й інші класи – “Forest” від “Cold area” та “Hot Field” від “Plant”.

Результати класифікації в Multispec. З використанням програмного засобу Multispec всіма методами проведена класифікація представлених багатоспектральним космоснімком типів земного покриття.

У таблицях 3 – 9 представлені матриці помилок класифікації, які виконані інструментами Multispec.

Таблиця 3

Матриця помилок класифікації за методом СЕМ

Фактичний клас	Розрахунковий клас						Точність, %
	Hot Field	Plant	Cold area	Forest	Water	Всього	
Hot Field	13115	9328	12	0	0	22455	58,4
Plant	261	946	0	0	228	1435	65,9
Cold area	2914	6	2106	1308	0	6334	33,2
Forest	282	0	168	6286	0	6736	93,3
Water	0	0	0	0	75320	75320	100
Всього	16572	10280	2286	7594	75548	112280	
Точність, %	79,1	9,2	92,1	82,8	99,7		

Таблиця 4

Матриця помилок класифікації за методом мінімальної відстані

Фактичний клас	Розрахунковий клас						Точність, %
	Hot Field	Plant	Cold area	Forest	Water	Всього	
Hot Field	19514	2941	0	0	0	22455	86,9
Plant	346	1089	0	0	0	1435	75,9
Cold area	0	0	5824	510	0	6334	91,9
Forest	0	0	810	5926	0	6736	88,0
Water	0	0	0	0	75320	75320	100
Всього	19860	4030	6634	6436	75320	112280	
Точність, %	98,3	27,0	87,8	92,1	100		

Таблиця 5

Матриця помилок класифікації за методом SAM (Spectral Angle Mapper)

Фактичний клас	Розрахунковий клас						Точність, %
	Hot Field	Plant	Cold area	Forest	Water	Всього	
Hot Field	22446	9	0	0	0	22455	100
Plant	33	1402	0	0	0	1435	97,7
Cold area	282	0	5283	769	0	6334	83,4
Forest	0	0	483	6253	0	6736	92,8
Water	0	272	0	0	75048	75320	99,6
Всього	22761	1683	5766	7022	75048	112280	
Точність, %	98,6	83,3	91,6	89,0	100		

Таблиця 6

Матриця помилок класифікації за методом Фішера

Фактичний клас	Розрахунковий клас						Точність, %
	Hot Field	Plant	Cold area	Forest	Water	Всього	
Hot Field	22155	300	0	0	0	22455	98,7
Plant	119	1316	0	0	0	1435	91,7
Cold area	0	0	5439	895	0	6334	85,9
Forest	0	0	450	6286	0	6736	93,3
Water	0	0	0	0	75320	75320	100
Всього	22274	1616	5889	7181	75320	112280	
Точність, %	99,5	81,4	92,4	87,5	100		

Таблиця 7

Матриця помилок класифікації за методом максимальної правдоподібності

Фактичний клас	Розрахунковий клас						Точність, %
	Hot Field	Plant	Cold area	Forest	Water	Всього	
Hot Field	22455	0	0	0	0	22455	100
Plant	60	1375	0	0	0	1435	95,8
Cold area	0	0	5941	393	0	6334	93,8
Forest	0	0	654	6082	0	6736	90,3
Water	0	0	0	0	75320	75320	100
Всього	22515	1375	6595	6475	75320	112280	
Точність, %	99,7	100	90,1	93,4	100		

Таблиця 8

Матриця помилок класифікації за методом ЕЧО
(спектрально-просторовий алгоритм Fisher Linear, розмір комірки – 2)

Фактичний клас	Розрахунковий клас						Точність, %
	Hot Field	Plant	Cold area	Forest	Water	Всього	
Hot Field	22358	97	0	0	0	22455	99,6
Plant	51	1384	0	0	0	1435	96,4
Cold area	0	0	5951	383	0	6334	94,0
Forest	0	0	529	6207	0	6736	92,1
Water	0	0	0	0	75320	75320	100
Всього	22409	1481	6480	6590	75320	112280	
Точність, %	99,8	93,5	91,8	94,2	100		

Таблиця 9

Матриця помилок класифікації за методом ЕЧО
(спектрально-просторовий алгоритм Quadratic, розмір комірки – 2)

Фактичний клас	Розрахунковий клас						Точність, %
	Hot Field	Plant	Cold area	Forest	Water	Всього	
Hot Field	22455	0	0	0	0	22455	100
Plant	20	1415	0	0	0	1435	98,6
Cold area	0	0	6307	27	0	6334	99,6
Forest	0	0	554	6182	0	6736	91,8
Water	0	0	0	0	75320	75320	100
Всього	22475	1415	6861	6209	75320	112280	
Точність, %	99,9	100	91,9	99,6	100		

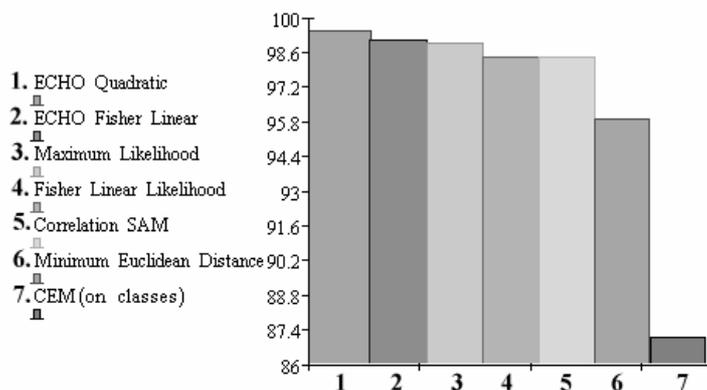


Рис. 3. Величини спільної точності класифікації за сімома методами

Незадовільні результати були отримані при використанні методу СЕМ – спільна точність класифікації склала всього 87,1%. З табл. 3 видно, що найгірше був виділений клас “Plant”.

Задовільний результат показав метод мінімальної Евклідової відстані – спільна точність класифікації склала 95,9%. З табл. 4 витікає, що алгоритм, який реалізовує цей метод, погано розділив класи “Hot Field” і “Plant”, а також “Cold area” і “Forest”. Такий результат цілком пояснює рис. 2.

Методи SAM і Фішера показали практично схожі результати – спільна точність класифікації склала 98,4% (див. табл. 5 та 6). У цих випадках також розділення вказаних вище 4-х класів є незадовільним.

Останні три методи, що були розглянуті, дали добрі результати (рис. 3). Спільна точність класифікації склала:

1. Метод максимальної правдоподібності – 99%.
2. Метод ЕСНО на базі методу Фішера – 99,1%.
3. Метод ЕСНО на базі методу максимальної правдоподібності – 99,5%.

Висновки. Побудоване двовимірне поле ознак дає інформацію про розподіл *NDVI* по різних класах, а додатковий параметр температури дозволяє точніше відносити тип земного покриття в потрібний клас. Це знімає проблему виділення рослинності на території міської забудови від рослинності, яка росте на територіях поза нею. Так, наприклад, поля, які мають трохи рослинності, набагато краще прогриваються і за рахунок показника температури відмінні від холоднішої міської забудови, хоча вона багато в чому має схожі значення *NDVI*. Оперуючи лише значеннями *NDVI* рознести рослинність в різні класи неможливо. Таким чином, показники температури, що фіксуються в тепловому каналі сканерів, залишаються дуже важливою додатковою ланкою при різних розрахунках, а також при виявленні зон з інтенсивним виділенням тепла та аномалій. Оскільки на зображенні, що класифікується, чималу кількість еталонних ділянок мають значення показників, які перекриваються, то зі всіх виконаних в середовищі Multispec класифікацій найкращі результати дали методи ЕСНО та максимуму правдоподібності.

Список літератури

1. Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш.М. Дейвис, Д.А. Ландгребе, Т.Л. Филлипс и др. Пер. с англ. – М.: Недра, 1983. – 415 с.
2. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности: Справ. изд. / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
3. Huete A., Justice C., van Leeuwen W. MODIS vegetation index (MOD 13). Algorithm theoretical basis document. Version 3. April, 1999 // Электр. док., URL: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf
4. Chander G., Markham B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges // IEEE transactions on geosciences and remote sensing, vol. 41, No. 11, 2003. – pp. 2674-2677.
5. Зубков И.А., Скрипачев В.О. Применение алгоритмов неконтролируемой классификации при обработке данных ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. ИКИ РАН. Сб.науч. ст. Вып. 4. Том 1. – М., 2007. С. 57-62.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 10.04.09*

СПОСОБ УСКОРЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОУРАВНИВАЮЩЕЙ РУБАШКИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ГЛУБОКОЙ ШАХТЫ

Для обеспечения возможности проходки горных выработок на глубоких горизонтах шахт и последующего поддержания нормальных тепловых условий предложено защитить горнорабочих от инфракрасного излучения за счет применения радиационного кондиционера и сократить приток тепла горного массива в горные выработки путем ускоренного формирования теплоуравнивающих рубашек вокруг горных выработок. Рассмотрено два способа ускоренного формирования теплоуравнивающих рубашек.

Запропоновано створювати нормальні кліматичні умови на проходці підготовчих виробок в глибоких шахтах шляхом захисту гірників від інфрачервоного випромінювання за допомогою радіаційного кондиціонера та зменшення притоку тепла з гірничого масиву за рахунок створення тепловирівнюючих оболонок навколо гірничих виробок. Розглянуто два способи прискореного формування тепловирівнюючих оболонок.

For providing possibility of driving of mine headings in deep mines and the subsequent maintenance of normal thermal terms for miners it is offered to protect them out of the infrared radiation due to application of radiant conditioner and by decreasing the mine rock heat flow into the mine headings space by speed-up forming of cooled rock shells round the headings. Two methods of the speed-up forming of rock shells round the mines headings are considered.

Принятое в апреле 2009 года Кабинетом Министров решение об оказании помощи в развитии угольной промышленности является давно назревшим и ожидаемым мероприятием, поскольку наличие достаточного для удовлетворения нужд страны объема добычи угля позволит продолжить ставший традиционным экспорт металла, избавиться от закупок угля за валюту у наших соседей и начать освоение энерготехнологической переработки угля с целью получения крайне необходимого газа и синтетического топлива для двигателей внутреннего сгорания. В подземных кладовых Донбасса хранится около 100 миллиардов тонн разведанных запасов угля, извлечение которого дало бы возможность обеспечения энергетических нужд страны на протяжении более 500 лет. Украина богата запасами урана и имеет возможность следовать примеру Франции в разумном использовании атомной энергии, создать полный цикл независимого производства ТВЭЛов для АЭС, строить своими силами атомные электростанции и производить необходимое для них оборудование. Но на данном этапе выход из положения может обеспечить уголь.

Решение задачи увеличения уровня добычи угля невозможно без строительства новых шахт, а здесь нас ожидают значительные трудности, поскольку легкодоступные запасы угля отработаны. В настоящее время уже 42 шахты Украины ведут горные работы на глубине более 1000 метров, а 4 достигли отметки 1400 метров, где температура горных пород превышает 45 °С. Для создания нормальных климатических условий труда шахтеров требуется обеспечить температуру воздуха в горных выработках, где ведутся работы, не выше 26 °С. Достигается это охлаждением воздуха, подаваемого в горные выработки. Процесс кондиционирования воздуха дорогостоящий из-за необходимости эксплуа-

тации мощных холодильных машин и большого расхода электроэнергии на их питание. Германия имеет опыт работ по нормализации тепловых условий в шахтах при добыче угля на глубинах до 1300-1400 м, показавший, что в таких условиях требуется обеспечить в шахту непрерывную подачу 8-10 МВт холода. Такую технику Германия производит и имеет возможность поставки ее Украине. К сожалению, Украина не кредитоспособна, поэтому рассчитывать на возможность нормализации тепловых условий в глубоких шахтах Донбасса за счет применения мощной современной техники охлаждения воздуха не приходится. На момент обретения независимости 57 шахт Донбасса имели действующие общешахтные системы кондиционирования воздуха, основу которых составляли выпускаемые в Казани турбокомпрессоры. Теперь системы центрального кондиционирования воздуха имеют только 2 шахты, на остальных холодильная техника бесследно исчезла.

В сложившихся условиях задачу возрождения угольной промышленности необходимо решать с учетом минимальных затрат на строительство и эксплуатацию шахт, а это требует применения неординарных решений. К сожалению, они не лежат на поверхности, а на научные исследования в угольной промышленности денег давно нет. Поэтому лишь в немногих организациях ведутся поисковые работы по актуальной для угольной промышленности тематике.

В настоящей статье излагаются результаты выполненных в Национальном горном университете поисковых работ по проблеме создания нормальных тепловых условий в глубоких шахтах при проходке горных выработок.

В основу концепции, выработанной на основании предыдущих исследований по этой теме, нами положены следующие положения:

- на глубинах ведения горных работ более 1300 м в Донбассе обеспечение нормальных тепловых условий труда горнорабочих за счет подачи охлажденного системой центрального кондиционирования воздуха невозможно, несмотря на огромные расходы электроэнергии;
- доставку холода в горные выработки следует распределить между водой и воздухом, отдав предпочтение воде в охлаждении массива горных пород и выносе тепла горного массива на дневную поверхность;
- для защиты горнорабочих от интенсивного инфракрасного излучения в забоях подготовительных выработок на глубоких горизонтах следует применять радиационные кондиционеры;
- для обеспечения нормальных тепловых условий в подготовительных горных выработках глубоких шахт следует максимально сократить приток тепла из окружающего горного массива в выработки за счет его охлаждения водой и ускоренного формирования теплоуравнивающей рубашки горной выработки;
- ускоренное формирование теплоуравнивающей рубашки горной выработки следует осуществлять уже в призабойной части выработки путем орошения водой ее стенок за экраном радиационного кондиционера и охлаждения горного массива впереди груди забоя с помощью опережающей скважины;
- извлеченное из горного массива тепло следует рассматривать как альтернативный источник энергии и использовать для охлаждения подаваемой в горные выработки воды.

Ниже рассматривается вопрос о возможности формирования теплоуравнивающей рубашки вокруг выработки за счет охлаждения горного массива по трассе проходки с помощью скважины, базирующийся на научных основах расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт [1,2]. В связи со сложностью научных основ расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт и отсутствием необходимости проектировать и строить глубокие угольные шахты, в последние 30-40 лет они не находили практического применения. Частично это объясняется недоступностью уровня аналитического описания для инженерно-технического персонала угольной промышленности. Доступ к нему открылся лишь недавно с появлением мощных персональных компьютеров и вычислительных систем типа MathCAD, MathLAB, MAPLE. Приводимые ниже выкладки базируются на несколько упрощенной модели теплообмена пород горного массива и движущейся по созданным в нем полостям (выработкам или скважинам) теплоохлаждающей средой. Это объясняется желанием получить некоторые расчетные параметры процесса теплообмена с достаточной для инженерных целей точностью при минимальных затратах времени на их осуществление. Заметим при этом, что ряд исходных данных, характеризующих тепловые процессы в недрах Земли, науке неизвестны либо оценены приближенно. К таковым относятся температура расплавленной магмы, мощность литосферы в представляющих интерес регионах, вид горных пород толщи литосферы и их теплофизические параметры, и ряд других. До сих пор отсутствует окончательное мнение науки о природе радиоактивного распада в недрах Земли и локализации источников распада в ее толще. Производя предварительные расчеты для глубоких шахт Донбасса, будем ориентироваться на такие исходные данные: мощность литосферы (по Мохоровичичу) –45-50 км, температура расплавленной магмы- 1250-1300⁰С, литосферу Земли в расчетах будем рассматривать не как сферическую оболочку, а как толстую пластину, состоящую из отдельных слоев горных пород большой площади залегания [3]. Такое упрощение не вносит заметных погрешностей в получаемые результаты, но существенно облегчает расчеты. Известно, что Земля имеет форму сплюснутого сфероида, но при оценке размеров Земли считают ее шаром со средним радиусом 6371 км. Малая, по сравнению с радиусом Земли, толщина сферической стенки литосферы приводит к тому, что внутренняя и внешняя ее поверхности мало отличаются по площади. Действительно, поскольку поверхность шара определяется зависимостью $S_{ш} = \frac{4\pi R^2}{3}$, то отношение внутренней и внешней поверхностей оболочки определяется отношением квадратов внутреннего и внешнего радиусов, что в рассматриваемом нами случае составит 0.98436545. С погрешностью в 1.5 % внешняя и внутренняя поверхности оболочки литосферы равны, а это дает нам возможность отказаться от рассмотрения теплопередачи в сферической оболочке и заменить ее теплопередачей в плоской бесконечной стенке толщиной всего лишь 50 км. Поскольку распределение горных пород и их теплофизические параметры в толще литосферы на глубинах 8-50 км неизвестны, то на данной стадии решения задачи придется считать их аналогичными слагающим верхнюю часть литосферы и одинаковы-

ми по свойствам (среда изотропная). Это значит, что любой вырезанный из такой пластины по нормали к ней стержень будет вести себя в теплопередаче одинаково и при расчетах рассматриваться как изолированный стержень без внутреннего источника энергии.

Количество теплоты, переносимое через элемент изотермической поверхности dF в единицу времени есть тепловой поток dQ , который, в соответствии с гипотезой Фурье, пропорционален градиенту температуры $\partial t / \partial n$:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF \quad (1)$$

Здесь λ - коэффициент теплопроводности.

Не вдаваясь в детали теории теплопередачи, для изолированного стержня примем граничные условия: с одной стороны – расплавленная магма, сохраняющая сотни миллионов лет стабильную температуру, с другой - поверхность Земли, контактирующая с атмосферой, с ее дневными и сезонными изменениями температуры, которая для упрощения задачи уже давно заменяются среднегодовой температурой региона. В этом случае задача сводится к определению теплового потока в изолированном стержне при заданной стабильной разности температур на его торцах. Даже если этот стержень составлен из слоев с различными коэффициентами теплопроводности, но известной толщины, нет необходимости решать дифференциальное уравнение в частных производных, ибо задача сводится к решению уравнения Ньютона-Рихмана, и тепловой поток даже с условием учета термического сопротивления слоя воздуха, прилегающего к земной поверхности, определяется зависимостью:

$$q = \frac{T_M - T_{oc}}{\frac{1}{\alpha_M} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{oc}}}, \quad (2)$$

где q - тепловой поток, T_M и T_{oc} - температура магмы и окружающей среды соответственно, δ и λ - толщина и коэффициент теплопроводности соответствующего слоя пород, α_M и α_{oc} - коэффициенты теплоотдачи на границах ‘магма-стержень’ и ‘стержень-окружающая среда’, соответственно. Знаменатель приведенного выражения есть величина термического сопротивления выделенного в толстой пластине стержня. Чтобы определить величину теплового потока, надо знать вид налегающих слоев горных пород, их мощности и коэффициенты теплопроводности пород. Такие данные для всей толщи литосферы отсутствуют, поскольку рекордная скважина “Кольская-сверхглубокая” имеет глубину лишь около 13 км. Понятно, что плотность теплового потока в различных районах земного шара окажется неодинаковой при одной и той же температуре магмы и зависит от теплофизических параметров горных пород и мощности оболочки литосферы. По имеющимся в литературе сведениям, диапазон изменения его величины достигает 4. Отсутствие сведений о стратиграфии, минералогическом составе и теплофизических параметрах горных пород не является препятствием для выполнения тепловых расчетов шахт, поскольку имеются данные разведочного бурения по каждому шахтному полю. Ниже приведены используемые в тепловых расчетах теплофизические параметры горных пород.

Теплофизические параметры горных пород

Наименование горной породы	Плотность, γ $кг / м^3$	Теплофизические свойства		
		$a \cdot 10^4$, $м^2/ч$	λ $ккал/м.ч., ^\circ C$	C $ккал/кг, ^\circ C$
Песчаник	2240	43.7	2.20	0.204
Глин. и песч. сланцы	2570	29.3	1.52	0.216
Уголь	1225	7.4	0.254	0.283
Известняк	2478	16.0	0.846	0.212

Величину плотности теплового потока можно определить по данным разведочного бурения и замеров температуры пород горного массива. Например, если при бурении вертикальной скважины по песчанику прирост температуры на 100 м составил $3^\circ C$, то, подставляя эти данные в выражение (2), получим: $q=0.066$ ккал/ $м^2 \cdot ч$.

Кажущаяся небольшой по величине эта цифра представляет значительный интерес. Если принять размер шахтного поля близким к типовым для Донбасса размером 5000×2500 $м^2$, то окажется, что через эту площадку из недр Земли, при подсчитанной величине плотности потока в окружающую Землю среду, ежечасно улетает 825000 килокалорий тепла. Чтобы получить такое количество тепла пришлось бы ежечасно сжигать 120 кг условного топлива (эта единица принята в международной торговле углем, калорийность которого должна составлять 7000 ккал на килограмм угля). За сутки через площадку земельного отвода угольной шахты в космос улетает такое количество тепла, которое можно получить, сжигая 3 тонны высококачественного угля. Оказывается, сохранив сеть выработок наиболее глубокого этажа шахтного поля глубокой шахты после отработки его запасов угля и организовав систему отвода тепла Земли на–гора, можно получать ежегодно тепловой эквивалент энергии, обеспечиваемый сжиганием 1000 тонн угля. Если подсчитать по выражению (2) усредненный коэффициент теплопроводности литосферы Земли, не принимая во внимание неизвестную нам величину коэффициента теплоотдачи на границе расплавленной магмы, то его величина окажется равной 2.28 ккал/м.ч. $^\circ C$. Преобладающим по мощности видом пород в глубоких шахтах Донбасса являются песчаники. Полученная усредненная величина λ пород литосферы немного больше таковой для песчаников. По-видимому, это объясняется наличием в литосфере более плотных пород типа базальта, диабазы. По данным Б. Гутенберга [4], общий поток теплоты, рассеиваемый через земную поверхность, составляет около $8 \cdot 10^{20}$ Дж/год, что эквивалентно энергии от сжигания 19 млрд. тонн нефти. По его мнению, тепловой поток Земли по ее поверхности распределяется равномерно, несмотря на то, что три четверти поверхности Земли приходится на водное зеркало океанов и морей. Пересчитав поток тепловой энергии Земли $8 \cdot 10^{20}$ Дж/год в плотность теплового потока, получим $q=537$ Дж/ $м^2 \cdot ч$, или 0.128 ккал/ $м^2 \cdot час$. Эта величина вдвое превышает подсчитанную нами выше плотность теплового потока для песчаника. Не вдаваясь в выяснение вопроса, чем

объясняется отличие упомянутых величин (может быть, меньшей величиной геотермической ступени, мощностью оболочки литосферы или наличием внутреннего источника в промежутке между наружной и внутренней границами литосферы) будем считать, что полученная в результате предварительного расчета величина интенсивности теплового потока вполне коррелирует с данными фундаментальной науки о Земле, что свидетельствует о приемлемости принятой нами методики предварительных инженерных расчетов.

В монографиях [1,2] уделено определенное внимание процессу формирования и параметрам теплоуравнивающей рубашки (далее по тексту-ТР) вокруг горной выработки, проведены экспериментальные наблюдения процесса формирования ТР на шахте 'Комсомолец' треста "Горловскуголь", высказано предположение, что с ростом глубины ведения горных работ будут возрастать размеры ТР вокруг горных выработок и их влияние на температуру воздуха в выработке, получена аналитическая зависимость для определения температуры стенки выработки в функции времени проветривания и эквивалентного радиуса

выработки:

$$t(R_0, \tau) = t_n - \frac{\frac{\alpha}{\lambda}(t_n - t_s)}{\frac{\alpha}{\lambda} + \frac{1}{2R_0}} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\pi a \tau} \left(\frac{\alpha}{\lambda} + \frac{1}{2R_0} \right)} \right]. \quad (3)$$

Сравнение результатов экспериментальных наблюдений с рассчитанными по формуле (3) выявило их полное совпадение. Аналитическая зависимость (3) в дальнейшем включена в "Методику МакНИИ"[5]. Наблюдениями установлено, что ширина охлажденной зоны за год увеличилась на 15 метров. К сожалению, капитальный квершлаг, на котором проводились наблюдения, был расположен на горизонте 620 м, где естественная температура горных пород составляла всего 40 °С, проводились эти обстоятельные наблюдения 60 лет назад. Позже аналогичные наблюдения были проведены на шахте №11, где глубина стволов составляла 850м. Исследователи в то время не проявили особого интереса к ТР, поскольку считали наиболее эффективным способом обеспечения нормальных тепловых условий в горных выработках мощную вентиляцию и охлаждение воздуха и не ставили перед собой задачу поиска других способов и средств нормализации тепловых условий в горных выработках шахт.

Действительно, проветривание горной выработки охлажденным воздушным потоком приводит к снижению температуры стенок горных выработок и снижению температуры воздуха в горной выработке, но достигается такой результат значительный промежуток времени спустя, а длительность его сильно зависит от расхода и температуры свежего воздуха. Достигнуть ожидаемого эффекта улучшения микроклимата в горной выработке удастся лишь в определенных пределах естественной температуры пород горного массива. Покажем на примере выработки сводообразной формы площадью поперечного сечения 14.4м², пройденной по песчанику ($\lambda=2.2$ ккал/м.ч. °С, $a=0.00437$ м² / ч), проветриваемой подаваемым ВГП воздухом. Воздух охлаждается системой центрального кондиционирования и поступает в выработку, имея температуру $t_{1v} = 15$ и $t_{2v} = 25$ °С. Естественная температура горных пород составляет $t_{p1} = 40$,

$t_{p2} = 50, t_{p3} = 60$ °C, коэффициент шероховатости стенок выработки $\varepsilon = 2$. Объемный вес воздуха с температурой 15 °C составляет $\gamma_1 = 1.25$ и с температурой 25 °C - $\gamma_2 = 1.20$. Расчет производится по приведенной выше аналитической зависимости (3) с применением системы MathCAD 11. Программа расчета и результаты приведены на рис. 1. Цель расчета – оценить степень влияния параметров вентиляционной струи, проветривающей выработку, на изменение температуры стенки выработки. Как видно из исходных данных, перечисленных в верхних строчках рисунка, дискретно изменяются два параметра - температура поступающего в выработку воздуха (15 и 25 °C) и естественная температура пород горного массива (40, 50 и 60 °C), что соответствует условию проходки выработки на глубине 1000, 1300 и 1600 м, соответственно. Скорость движения воздуха принята 2 м/с – предельно реализуемая с применением ВМП. При такой скорости и заданных параметрах плотности рудничного воздуха и температуры коэффициент теплоотдачи стенок выработки составляет около 40% максимально достижимого в проводимой выработке. Полученные результаты могут трактоваться как предельно достижимые при проветривании вентиляторами местного проветривания. Для сравнения на рис. 2 рассматривается вариант, когда выработка включена в систему общешахтной вентиляции и проветривается воздухом с той же температурой, но скорость его движения равна максимально допустимой по ПБ и составляет 8 м/с.

$$\begin{aligned}
 & \rho_1 := 1.25 \quad \rho_2 := 1.20 \quad \varepsilon := 2 \quad w := 2 \quad F := 14.4 \quad tv_1 := 15 \quad tv_2 := 25 \quad \lambda := 2.2 \\
 & a := 0.00437 \quad tp_1 := 40 \quad tp_2 := 50 \quad tp_3 := 60 \quad U := 3.8\sqrt{F} \quad *R_0 := 2 \frac{F}{U} * \\
 & \alpha_1 := 2 \cdot \varepsilon \cdot (\rho_1 \cdot w)^{0.8} \cdot \left(\frac{U}{F}\right)^{0.2} \quad * \alpha_2 := 2 \cdot \varepsilon \cdot (\rho_2 \cdot w)^{0.8} \cdot \left(\frac{U}{F}\right)^{0.2} \quad * k_1 := \frac{\alpha_1}{\lambda} \quad * O_1 := k_1 + \left(\frac{1}{2 \cdot R_0}\right) \quad * kv := \pi a \tau \\
 & f_2(\tau) = \left[tp_2 - \left[\left[k_1 \cdot \frac{(tp_2 - tv_1)}{O_1} \right] \cdot \left(1 - \frac{1}{O_1 \cdot \sqrt{\tau \cdot kv}}\right) \right] \right] * \quad f_3(\tau) = \left[tp_3 - \left[\left[k_1 \cdot \frac{(tp_3 - tv_1)}{O_1} \right] \cdot \left(1 - \frac{1}{O_1 \cdot \sqrt{\tau \cdot kv}}\right) \right] \right] * \\
 & tv_2 := 25 \quad k_2 = \frac{\alpha_2}{\lambda} * \quad O_2 := k_2 + \frac{1}{2R_0} * \quad f_4(\tau) = \left[tp_1 - \left[\left[k_2 \cdot \frac{(tp_1 - tv_2)}{O_2} \right] \cdot \left(1 - \frac{1}{O_2 \cdot \sqrt{\tau \cdot kv}}\right) \right] \right] * \\
 & f_5(\tau) = \left[tp_2 - \left[\left[k_2 \cdot \frac{(tp_2 - tv_2)}{O_2} \right] \cdot \left(1 - \frac{1}{O_2 \cdot \sqrt{\tau \cdot kv}}\right) \right] \right] * \quad f_6(\tau) = \left[tp_3 - \left[\left[k_2 \cdot \frac{(tp_3 - tv_2)}{O_2} \right] \cdot \left(1 - \frac{1}{O_2 \cdot \sqrt{\tau \cdot kv}}\right) \right] \right] *
 \end{aligned}$$

Приведенные на рисунках 1 и 2 графики результатов расчетов показывают, что непосредственно после обнажения горного массива стенки выработки, имеющие естественную температуру горного массива, быстро снижают ее вследствие охлаждающего действия воздушной струи. Время проветривания выработок в сутках отложено на оси абсцисс и принято на обоих рисунках одинаковым.

Сравнение графиков рис.1 и 2 показывает, что характер изменения температуры стенок выработки остался прежним, таблицы результатов расчетов свидетельствуют, что скорость изменения температуры стенки выработки, проветриваемой общешахтной струей, в первые дни значительно увеличилась, по сравнению с таковой для местной вентиляции, но и месяц спустя она еще не стала равной температуре проветриваемого выработку воздуха.

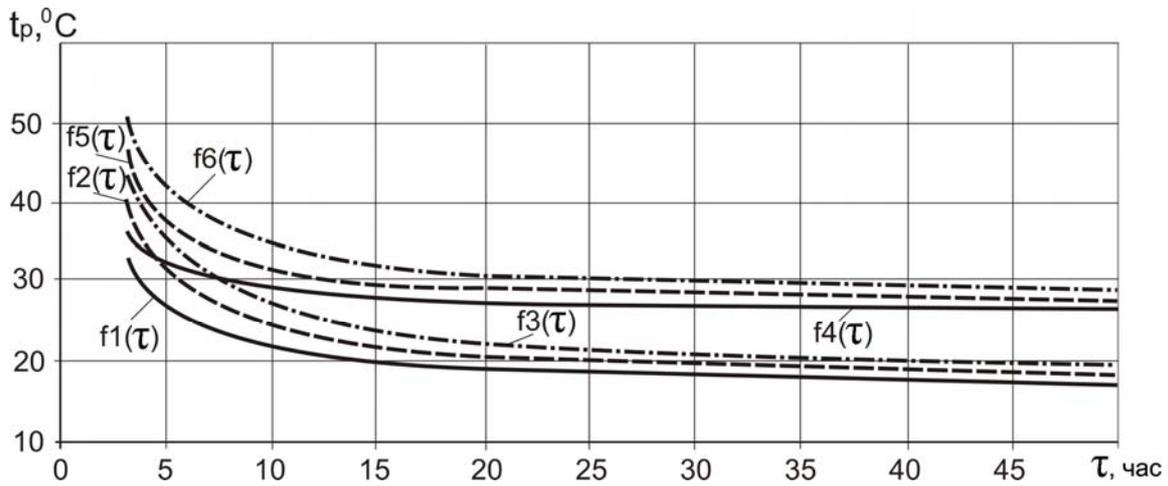


Рис. 1. Изменение температуры стенки выработки в функции параметров воздушной струи и времени проветривания при максимальной скорости движения воздуха 2 м/с

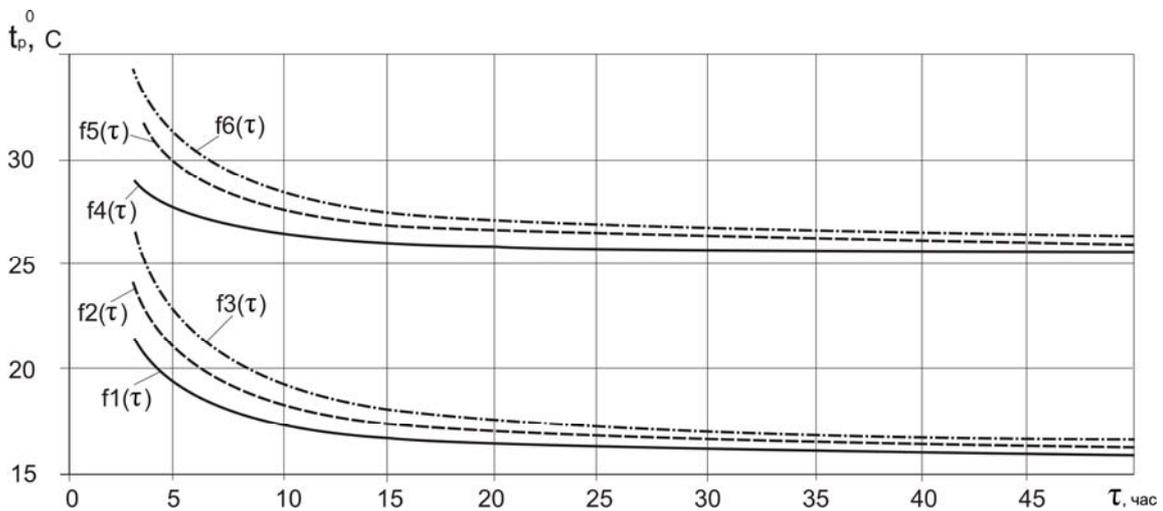


Рис. 2. Изменение температуры стенки выработки в функции параметров воздушной струи и времени проветривания при максимальной скорости движения воздуха 8 м/с

В целом результаты расчетов показывают, что с помощью подачи охлажденного воздуха быстро создать теплоуравнивающую рубашку не представляется возможным. То, что ТР формируется, неоспоримо, но ждать 10 лет, пока она расширится до подтвержденных экспериментальными наблюдениями 15-20 м, за счет нормально действующей вентиляции [1] не представляется возможным, поскольку даже большинство капитальных выработок за такой промежуток времени уже выполняют свои функции и будут погашены. С сожалением приходится признавать, что даже хорошо охлажденный воздух не способен за короткий срок сформировать теплоуравнивающую рубашку горной выработки. При решении вопросов нормализации тепловых условий в горных выработках большое внимание уделяется теплофизическим и аэродинамическим параметрам движущегося по ней воздуха. Понятно, что неподвижный воздух в выработке за десяток секунд нагреется до температуры стенки горной выработ-

ки, а при проведении горных выработок температура свежееобнаженной стенки выработки близка к естественной температуре горного массива на глубине проходки. Движение воздуха приводит к формированию структуры потока. Величиной, позволяющей судить о режиме движения потока газа или жидкости, является число Рейнольдса Re . Ламинарный режим движения воздуха имеет место лишь при $Re \leq 1000$, турбулентный - при $Re > 40000-80000$. В промежутке между ними имеет место переходный режим движения воздуха. Для воды также имеет место три режима движения, но промежуток для переходного режима значительно меньше. Ламинарный режим движения воды имеет место при $Re < 2000$, турбулентный – при $Re > 10000$. В промежутке между ними - переходный режим движения. Для горняков чрезвычайно важно обеспечить турбулентный режим движения воздуха, так как при этом режиме значительно ускоряется перемешивание выделяющегося в горные выработки взрывчатых и ядовитых газов. В процессах теплопередачи турбулизация потока также играет большую роль, так как значительно уменьшает толщину прилегающего к твердым стенкам неподвижного слоя и снижает термическое сопротивление для теплового потока. Условия теплопередачи между телом и окружающей средой характеризуются коэффициентом теплоотдачи, который численно равен количеству отдаваемого или воспринимаемого тепла единицей поверхности в единицу времени при разности температур между телом и окружающей средой в один градус. Для горных выработок коэффициент теплоотдачи определяется по формуле: $\alpha = 2.32 \cdot \varepsilon \cdot (\rho \cdot w)^{0.8} \cdot \left(\frac{U}{F}\right)^{0.2}$ Вт/(м²·К) (4).

Здесь: ε - коэффициент шероховатости стенок выработки, ρ - плотность воздуха при данной температуре и давлении воздуха, w - скорость движения воздуха, F - площадь поперечного сечения выработки, U - периметр выработки. Скорость движения воздуха в значительной степени влияет на величину коэффициента теплообмена. Ниже приведен расчет теплоотдачи нагретой стенки выработки на глубине 1500 м при условии, что она эффективно проветривается вентилятором местного проветривания, обеспечивающего среднюю скорость движения воздуха 2 м/с, и при условии, что выработка включена в систему проветривания шахты и по ней осуществляется подача свежего воздуха со скоростью движения 8 м/с. Температура поступающего в выработку в том и другом случае принята одинаковой и составляет 20⁰С. Из приведенного ниже расчета интенсивности выноса тепла с поверхности стенок участка выработки длиной 1 м за первые 100 часов после вскрытия горного массива следует, что коэффициент теплоотдачи выработки при скорости движения воздуха 2 м/с составлял 10 Вт/(м²·К) и возрос в три раза при увеличении скорости движения воздуха до 8 м/с. Кривые изменения количества выносимого со стенок выработки тепла свидетельствуют о том, что вынос тепла из выработки за первые 100 часов ее существования при интенсивной вентиляции вырос всего на четверть по сравнению с проветриванием выработки с помощью ВМП. Этот пример расчета подтверждает наше утверждение о том, что резервы создания нормального микроклимата в глубоких шахтах за счет интенсивной вентиляции охлажденным воздухом исчерпаны.

$$\begin{aligned}
 F &:= 14.4 & U &:= 3.8 \cdot \sqrt{F} & t_p &:= 50 & t_v &:= 20 & w_1 &:= 2 & w_2 &:= 8 \\
 \lambda &:= 2.2 & a &:= 0.00437 & \tau &:= 1..100 & R_0 &:= 2 & \rho &:= 1.3 & \varepsilon &:= 2
 \end{aligned}$$

$$\alpha_1 := 2.32 \varepsilon (\rho \cdot w_1)^{0.8} \left(\frac{U}{F} \right)^{0.2} \qquad \alpha_2 := 2.32 \varepsilon (\rho \cdot w_2)^{0.8} \left(\frac{U}{F} \right)^{0.2}$$

$$\alpha_1 = 9.968 \qquad k_1 := \frac{1}{2 \cdot R_0} + \frac{\alpha_1}{\lambda} \qquad \alpha_2 = 30.218 \qquad k_2 := \frac{1}{2 \cdot R_0} + \frac{\alpha_2}{\lambda}$$

$$\begin{aligned}
 f_1(\tau) &:= \frac{(t_p - t_v)}{\left(\frac{1}{2 \cdot \alpha_1 \cdot R_0} + \frac{1}{\lambda} \right)} \left[\frac{\tau}{2 \cdot R_0} + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{\left(1 + \frac{\lambda}{2 \cdot \alpha_1 \cdot R_0} \right) \cdot \sqrt{a \cdot \pi}} + \frac{\frac{\alpha_1}{\lambda} \cdot e^{-k_1 \cdot a \cdot \tau}}{a \cdot k_1^2} \cdot \operatorname{erfc}(k_1 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}) - \frac{\frac{\alpha_1}{\lambda}}{k_1^2 \cdot a} \right] \cdot U \\
 f_2(\tau) &:= \frac{(t_p - t_v)}{\left(\frac{1}{2 \cdot \alpha_2 \cdot R_0} + \frac{1}{\lambda} \right)} \left[\frac{\tau}{2 \cdot R_0} + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{\left(1 + \frac{\lambda}{2 \cdot \alpha_2 \cdot R_0} \right) \cdot \sqrt{a \cdot \pi}} + \frac{\frac{\alpha_2}{\lambda} \cdot e^{-k_2 \cdot a \cdot \tau}}{a \cdot k_2^2} \cdot \operatorname{erfc}(k_2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}) - \frac{\frac{\alpha_2}{\lambda}}{k_2^2 \cdot a} \right] \cdot U
 \end{aligned}$$

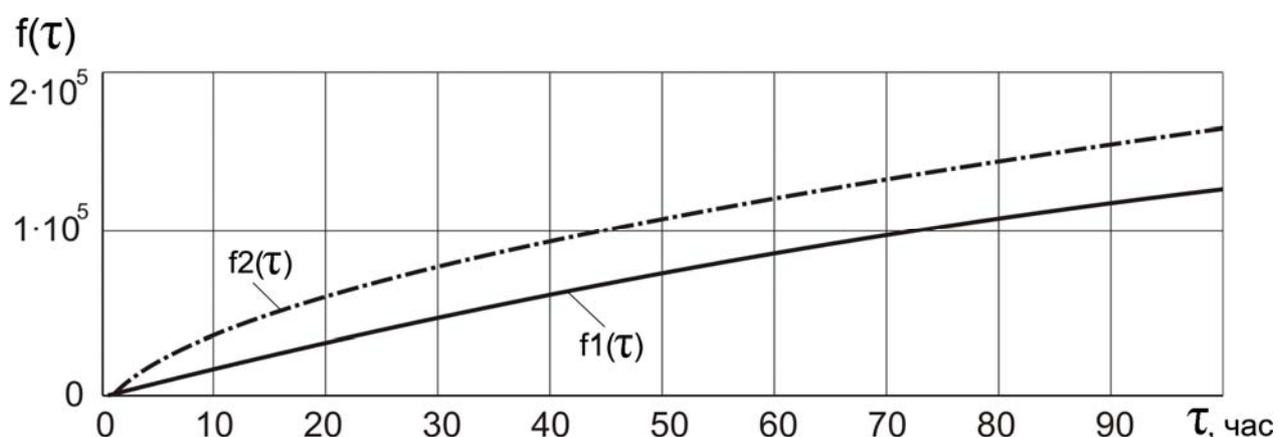


Рис. 3. Изменение выноса тепла стенок горной выработки за первые 100 часов после вскрытия горного массива. Линия $f_2(\tau)$ отражает динамику тепловыноса при проветривании выработки с помощью ВМП, $f_1(\tau)$ – проветривание общешахтное

Единая методика прогнозирования тепловых условий в угольных шахтах рекомендует при орошении поверхности призабойной зоны тупиковой выработки коэффициент нестационарного теплообмена для призабойной зоны рассчитывать по формуле:

$$k_{\tau} = \frac{2.51 \cdot \lambda}{F_s} + \frac{1.13 \cdot \lambda}{\sqrt{a} \cdot (\sqrt{\tau_s} + \sqrt{\tau_q})}$$

Здесь: τ_s и τ_q - время существования груди забоя и призабойной зоны выработки, равные 1 и 50 часам, соответственно.

Рассчитанный коэффициент нестационарного теплообмена для орошаемой призабойной зоны рассматриваемого нами квершлага, пройденного по пес-

чанику на глубине 1500 м, оказался равным 5.1356. К сожалению, из-за неполноты данных [5] не представляется возможным восстановить значение коэффициента теплоотдачи для случая орошаемой призабойной зоны. В начальный момент времени, при $\tau \rightarrow 0$, эти коэффициенты равны по величине, за прошедшее с момента обнажения забоя и стенок время коэффициент нестационарного теплообмена снизился в несколько раз. Представляет интерес сам факт применения способа орошения призабойной зоны. МакНИИ не мог рекомендовать непроверенный метод, поэтому надлежит произвести поиск сведений о реальных результатах проведенных экспериментов по его применению и, с учетом реальных параметров эффективности метода, включить орошение призабойной зоны как возможную альтернативу метода орошения выработки за экраном радиационного кондиционера в случае аварийной задержки его передвижки к забою проводимой выработки.

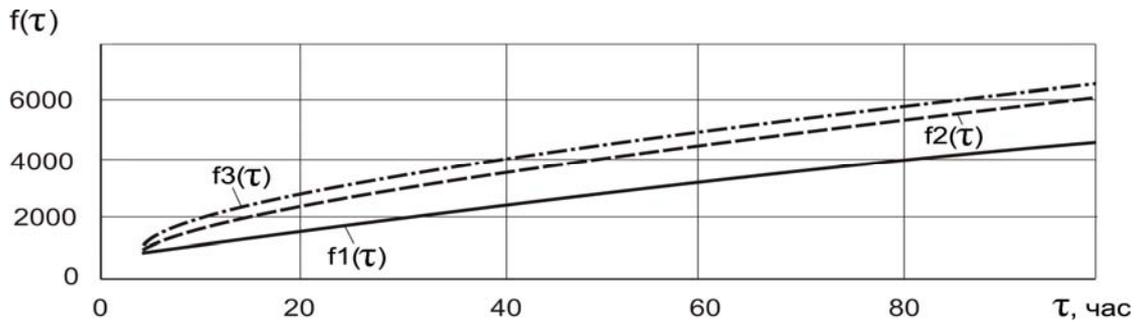
Из-за отсутствия надежных данных эксперимента попробуем оценить влияние орошения стенки горной выработки на интенсивность выноса тепла горного массива с одного квадратного метра поверхности стенки выработки за 100 часов по сложной для расчета зависимости, заимствованной нами из [1] и преобразованной с учетом специфики расчета с применением системы MathCAD. Условия охлаждения выработки зададим в виде изменения коэффициента теплоотдачи, расчеты произведем для естественных температур горного массива 40, 50, 60 и 70°C. Примем величины коэффициента теплоотдачи α равными 10, 50 и 1000, соответствующими неорошаемой выработке со скоростью движения воздуха 2 м/с, проветриваемой ВМП, слабо орошаемой и интенсивно орошаемой выработке. Расчетные формулы и графики результатов расчетов приведены на рис. 4.

$$\begin{array}{l}
 F := 144 \quad U := 3.8\sqrt{F} \quad \alpha 1 := 10 \quad \alpha 2 := 50 \quad \alpha 3 := 1000 \quad \tau := 1..100 \\
 \lambda = 2.2 \quad R0 := 2 \quad a := 0.00438 \quad tp := 40 \quad tv := 25
 \end{array}$$

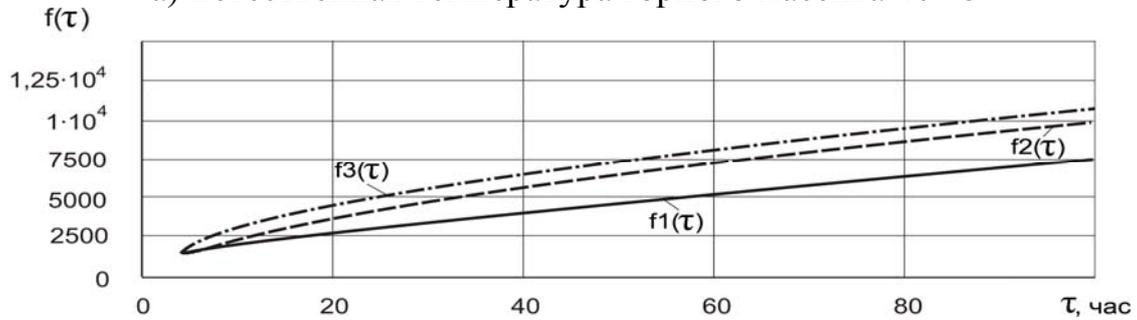
$$f1(\tau) := \frac{(tp - tv)}{\left(\frac{1}{2 \cdot \alpha 1 \cdot R0} + \frac{1}{\lambda}\right)} \left[\frac{\tau}{2 \cdot R0} + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{\left(1 + \frac{\pi}{2 \cdot \alpha 1 \cdot R0}\right) \cdot \sqrt{\pi \cdot a}} + \frac{\frac{\alpha 1}{\lambda}}{\left(\frac{\alpha 1}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot R0}\right)^2} \cdot a \left[\frac{1}{\sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau} \cdot \left(\frac{\alpha 1}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot R0}\right)} - 1 \right] \right]$$

$$f2(\tau) := \frac{(tp - tv)}{\left(\frac{1}{2 \cdot \alpha 2 \cdot R0} + \frac{1}{\lambda}\right)} \left[\frac{\tau}{2 \cdot R0} + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{\left(1 + \frac{\pi}{2 \cdot \alpha 2 \cdot R0}\right) \cdot \sqrt{\pi \cdot a}} + \frac{\frac{\alpha 2}{\lambda}}{\left(\frac{\alpha 2}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot R0}\right)^2} \cdot a \left[\frac{1}{\sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau} \cdot \left(\frac{\alpha 2}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot R0}\right)} - 1 \right] \right]$$

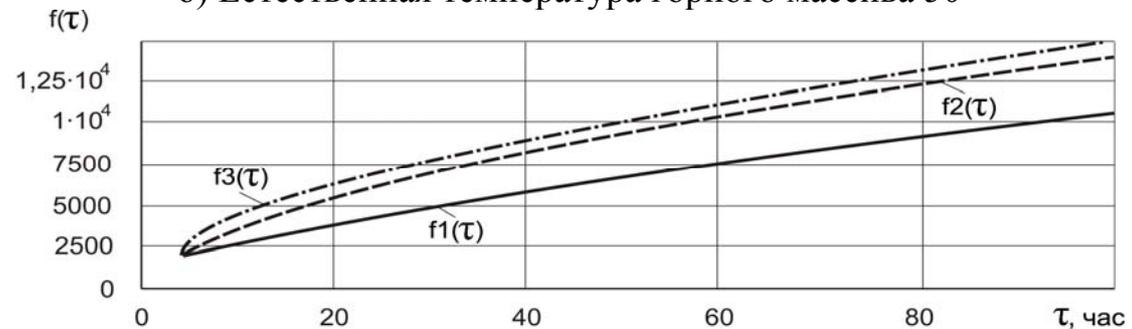
$$f3(\tau) := \frac{(tp - tv)}{\left(\frac{1}{2 \cdot \alpha 3 \cdot R0} + \frac{1}{\lambda}\right)} \left[\frac{\tau}{2 \cdot R0} + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{\left(1 + \frac{\pi}{2 \cdot \alpha 3 \cdot R0}\right) \cdot \sqrt{\pi \cdot a}} + \frac{\frac{\alpha 3}{\lambda}}{\left(\frac{\alpha 3}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot R0}\right)^2} \cdot a \left[\frac{1}{\sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau} \cdot \left(\frac{\alpha 3}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot R0}\right)} - 1 \right] \right]$$



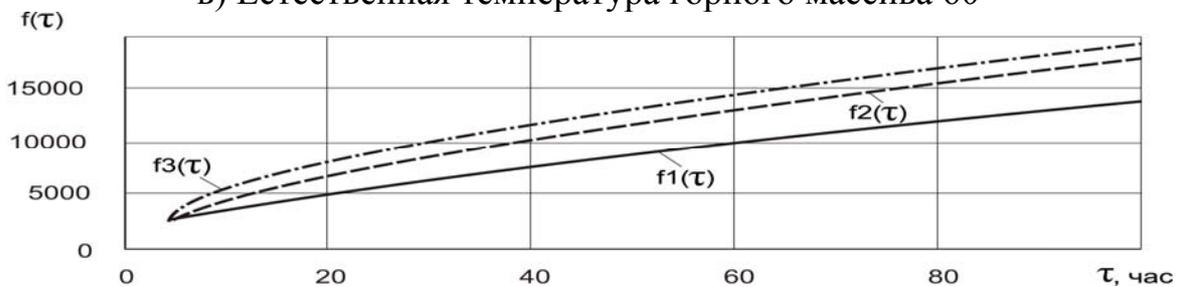
а) Естественная температура горного массива 40 °С



б) Естественная температура горного массива 50



в) Естественная температура горного массива 60



г) Естественная температура горного массива 70 °С

Рис. 4. Изменение тепловыноса с 1 м² поверхности выработки во времени

Список литературы

1. Щербань А. Н., Кремнев О. А.. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Том 1,2. Издат. АН УССР, Киев, 1959. -430 с,1960.-348 с.
2. Щербань А. Н., Кремнев О. А., Журавленко В. Я. Руководство по регулированию теплового режима шахт. -М.: Недра, 1977.- 359 с.
3. Бойко В.А. Структура и математическая модель системы охлаждения горного массива глубокой шахты. – Дніпропетровськ, Науковий вісник НГУ.- №9, 2004, -с.63-69
4. Гутенберг Б. Физика земных недр.-М.:Издательство иностр. литературы, 1963.- 263
5. Единая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах. – Макеевка- Донбасс: МакНИИ,1979.-196 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 14.05.09*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В СКВАЖИННЫХ ГИДРАЗАБОЙКАХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ В КАРЬЕРАХ

Разработан новый раствор, на основе поверхностно-активного вещества, для пылеподавления при массовых взрывах в карьерах. Определены оптимальные концентрации раствора для борьбы с пылью, выделяющейся при взрывах.

Розроблено новий розчин на основі поверхнево-активних речовин для пилопридушення при масових вибухах у кар'єрах. Визначені оптимальні концентрації розчину для боротьби з пилом, що виділяється після вибухів.

New solution is developed, on the basis of superficial active matter, for suppression of dust at mass explosions in careers. The optimum concentrations of solution are certain for a fight against a dust, selected at explosions.

При подрывании горных пород взрывом в атмосферу выделяются большие объемы пыли. Масса выделившейся пыли зависит от типов горных пород и взрывчатых веществ (ВВ), а также удельных расходов ВВ на подрывание горной массы.

Исследования ГП «НИИБТГ» на карьерах ГОКа «АрселорМиттал Кривой Рог» показали, что при подрывании железистых кварцитов, окисленных руд и сланцев с использованием ВВ Грамонит-79/21- удельное пылевыведение колеблется в пределах 0,143-0,260 кг на 1кг указанного ВВ. При подрывании этих же пород взрывчатым веществом «Украинит ПП-2Б удельное пылевыведение составляет 0,106-0,218 кг/кг ВВ.

В настоящее время на карьерах Кривбасса одновременно может быть взорвано 300-1000 т ВВ. В этом случае, как показывают расчеты, в атмосферу залпом могут быть выброшены сотни тонн пыли. Это приводит к интенсивному загрязнению воздуха рабочих зон карьеров и атмосферного воздуха в жилых массивах.

Исследования показали, что концентрация пыли на границе санитарно-защитной зоны от карьеров (1500 м) после взрывов может превышать ПДК в 50-200 раз, а запыленность воздуха в карьере через 2 часа после взрыва достигает 4,2-6,8 мг/м³ при ПДК 2 мг/м³. Следует отметить, что в холодный и влажный периоды года концентрация пыли в атмосфере карьера после взрывов ниже и составляет 2,8-4,5 мг/м³. Однако во всех случаях основная масса пыли, что составляет 60-70%, является силикозоопасной, а поскольку она свежесколота, то обладает высокой фиброгенной активностью.

Поэтому решение проблемы борьбы с пылевыми выбросами, образующимися при массовых взрывах в карьерах, является важной и актуальной задачей.

Решение этой проблемы связано с выполнением работ в рамках отраслевой программы улучшения состояния безопасности, гигиены труда и производственной среды Минпромполитики Украины.

В настоящее время для пылеподавления при массовых взрывах используется внутренняя, увлажненная водой или растворами химических веществ, твердая забойка, а также водяная гидрозабойка в полиэтиленовых рукавах.

В работе [1] представлены результаты исследований по пылеподавлению при массовых взрывах с использованием в качестве гидрозабойки водного раствора поверхностно-активного вещества (ПАВ) - алкилсульфата натрия. В данном случае механизм пылеподавляющего действия гидрозабойки заключается в следующем. При взрыве детонирующего шнура в скважине образуется пена, которая под действием продуктов детонации основного заряда ВВ выбрасывается из скважины, образуя над блоком аэрозольное облако. Поднявшаяся пыль смачивается аэрозолем из ПАВ и, образуя агрегаты, оседает в контурах карьера. Отмечается, что скорость коагуляции пыли по сравнению с гидрозабойкой увеличивается в 50 раз, а пылегазовое облако распадается в течение 20-35 с.

ГП «НИИБТГ» разработан новый состав для гидрозабойки на основе раствора поверхностно-активного вещества «ЭКОМ». Результаты лабораторных исследований свидетельствуют, что оптимальная концентрация раствора «ЭКОМ» для пылеподавления составляет 0,1-1,0 мас. %. Промышленные исследования на карьере ОАО «Ингулецкий ГОК» проводились с использованием раствора «ЭКОМ» концентрации 0,5 мас.% в качестве компонента твердой увлажненной забойки и внешней гидрозабойки. При этом эффективность пылеподавления составила 51,8%.

Исследования по разработке новых типов растворов для пылеподавления при массовых взрывах в карьерах были проведены ГП «НИИБТГ» совместно с ООО «НТЦ «ВНИИХИМПРОЕКТ». В ООО «НТЦ «ВНИИХИМПРОЕКТ» была разработана матрица ПАВ, основным свойством которой является повышение смачиваемости пыли горных пород, которая получила название «смачиватель рудничной пыли (РП)». Смачиватель содержит неионогенные ПАВ основным составляющим которых является *n*-нониловый спирт. Затем нами были проведены исследования по разработке рецептуры раствора для борьбы с пылью при массовых взрывах в карьерах.

Целью данной работы является расширение ассортимента пылеподавляющих веществ и разработка нового раствора на основе поверхностно-активного вещества – (*n*-нонилового спирта) для борьбы с пылью, выделяющейся при массовых взрывах в карьерах.

Исходя из цели в работе решались следующие задачи:

- разработать оптимальную рецептуру водного раствора ПАВ–*n*-нонилового спирта (смачивателя РП) для использования его в качестве средства пылеподавления при массовых взрывах;

- провести промышленные исследования по определению влияния водного раствора смачивателя РП на качественный и количественный состав пыли, выделяющейся после взрывов;

- установить эффективность пылеподавляющего действия смачивателя РП и определить его способность нейтрализовать, образующиеся при взрывах вредные газы.

- определить эколого-экономическую эффективность применения водного раствора смачивателя РП для борьбы с пылью при массовых взрывах.

При выборе растворов, прежде всего, необходимо, чтобы они обладали высокой смачивающей способностью. Смачивающая способность растворов и смачиваемость твердых тел характеризуется поверхностным натяжением (σ) растворов. Повысить смачивающую способность растворов и снизить их поверхностное натяжение (σ) можно путем добавки небольших концентраций поверхностно-активных веществ.

Лабораторные исследования показали, что незначительная добавка ПАВ-*n*-нонилового спирта к воде снижает ее поверхностное натяжение. Так, например, поверхностное натяжение воды составляет 0,072 Н/м, однако при добавлении в воду 0,01 мас.% *n*-нонилового спирта значение ее поверхностного натяжения снижается до 0,060 Н/м. Результаты исследований показали, что при добавлении в растворитель, т.е. в воду, данного ПАВ в количестве 0,05; 0,1; 0,5; 1,0 мас.% значение (σ) снижается и составляет, соответственно, 0,042; 0,035; 0,032; 0,032 Н/м.

Для промышленных исследований был принят водный раствор смачивателя РП (*n*-нониловый спирт) концентрации 0,1 мас.%. Выбор раствора данной концентрации обусловлен тем, что при этом ее значении поверхностное натяжение снижается до 35 Н/м и дальнейшее повышение концентрации ПАВ в растворителе существенно не приводит к снижению (σ). Исследования проводились 20 июля 2007г. на карьере ОАО «Ингулецкий ГОК» на блоке № 103, горизонт -45 м. Породы на блоке были представлены скальной горной массой (гематитовые, безрудные кварциты и незначительно сланцы) общим объемом 182,00 тыс.м³. Тип взрывчатого вещества – Украинит.

Общее количество скважин на блоке 330 шт. Из них в 96 скважинах использовался водный раствор смачивателя РП и в 90 скважинах вода. На остальном участке блока была использована штатная внешняя гидрозабойка в полиэтиленовых рукавах, которая традиционно применяется на предприятии. Количество ВВ на участке блока, где использовался водный раствор смачивателя РП, составляло 57024,00 кг, а на участке где использовалась вода -53460,00 кг.

Способ пылеподавления включал применение твердой увлажненной внутренней и внешней забойки. Для этого в скважинах формировалась штатная твердая забойка. Затем на поверхности блока формировался слой внешней забойки, в виде защитного экрана, состоящего из пород забоечного материала. При этом над скважинами, в радиусе около 1 м от их центра, т.е. в зоне пластических деформаций, откуда выделяется основная масса пыли после взрыва, толщина экрана достигала 0,5 м. На остальной части блока слой пород составлял 0,05-0,15 м. Затем проводилось увлажнение твердой забойки и пород защитного экрана водой или водным раствором смачивателя РП концентрации 0,1 мас.%.

Приготовление водного раствора смачивателя РП осуществлялось вблизи карьера на участке ОАО ППП «Кривбассвзрывпром». Для получения раствора вначале в цистерну специальной поливочной машины вместимостью 10000 л вливалась порция смачивателя массой 10 кг и затем добавлялась вода. Разбавление раствора осуществлялось самопроизвольно без применения специального механического воздействия.

Затем машина выезжала на блок, который подлежал подрыванию и техническими работниками ОАО ППП «Кривбассвзрывпром» производилось увлажнение твердой забойки в скважинах и пород защитного экрана на поверхности блока. Расход раствора на увлажнение контролировался специальным расходомером, которым оснащена поливочная машина. Таким же образом на другом участке блока осуществлялось увлажнение твердой забойки и пород защитного экрана водой.

Расход раствора смачивателя и воды на увлажнение пород твердой забойки и пород защитного экрана составлял 40-50 л/м³. В результате суммарный расход раствора и воды на исследуемых участках блоков в среднем достигал 300 л на одну скважину.

На третьем участке блока использовалась штатная внешняя гидрозабойка в виде полиэтиленовых рукавов, наполненных водой, которая постоянно применяется на предприятии. При этом средний расход воды на одну скважину составлял около 200 л.

Перед взрывом, на расстоянии 30 м от каждого из трех участков блока, выставлялись гидромеханические средства отбора проб пыли и газов с пылегазового облака (ПГО), образующегося после взрыва. Гидромеханические средства изготовлены с возможностью установки на них пылезаборных патронов с фильтрами АФА. После взрыва, непосредственно на блоке, осуществлялся анализ газов поступивших в емкости гидромеханических средств, а также газовых проб, которые были отобраны с помощью специального иньектора и насоса со взорванной горной массы. Анализ газов проводился портативными газоанализаторами Mini Warn и Vario+ производства фирмы Dragger (Германия). Фильтры АФА доставлялись в химлабораторию ГП «НИИБТГ» где осуществлялась их обработка и определение концентраций пыли в облаке после взрыва.

Результаты исследований по пылегазоподавлению при массовых взрывах в карьере с использованием гидрозабойки из раствора смачивателя РП концентрации 0,1 мас.% и воды приведены в табл. 1.

Как видно из результатов, концентрация пыли в ПГО при использовании для пылеподавления смачивателя РП выше, чем при использовании воды.

Следует также отметить, что при концентрации 0,1 мас.% раствор смачивателя РП не обладает свойствами нейтрализации вредных газов.

Промышленные исследования по пылеподавлению с использованием водного раствора смачивателя РП концентрации 0,5% и воды проводились в карьере ОАО «Ингулецкий ГОК» на блоке № 157, горизонт -270 м, уступ -270/-285 м, время проведения исследований – 2 ноября 2007 г. Породы на блоке были представлены железными рудами (силикато-магнетитовыми и магнетитосиликатовыми кварцитами). Тип взрывчатого вещества – «Украинит». Общее количество скважин на блоке составляло 183 шт. Из них в 100 скважинах была использована гидрозабойка со смачивателем РП - *n*-нониловым спиртом в полиэтиленовых рукавах, а в 58 скважинах – обычная водяная, в полиэтиленовых рукавах, гидрозабойка. Общее количество ВВ в исследуемом блоке составляло 135010 кг. Технология приготовления раствора и дальнейшая реализация способа пылеподавления аналогичны тем, что применялись и в летнее время года.

Таблица 1

Результаты сравнительных испытаний способа пылеподавления с применением твердой внутренней и внешней забоек, увлажненных смачивателем РП, концентрации 0,1 мас.% и водой, а также внешней водяной гидрозабойки в полиэтиленовых рукавах

Тип гидрозабойки, и наименование раствора для гидрозабойки	Концентрация вредных выбросов после взрыва, мг/м ³			Концентрация вредных выбросов в подорванной горной массе, мг/м ³	
	пыль	СО	NO ₂	СО	NO ₂
1. Твердая увлажненная (водный раствор РП конц. 0,1 мас. %)	750-780	420-450	5-8	180-220-260	6-7-9
2. Твердая увлажненная (вода)	580-610	400-410	6-7	200-220-250	6-8-10
3. Внешняя гидрозабойка (вода)	930-970	440-470	7-9	230-250-260	8-10-12

Масса водного раствора РП и воды в полиэтиленовых рукавах в скважинах составляла около 150 л на 1 скважину. Кроме того, поверхности блока орошались, соответственно, водным раствором смачивателя РП и воды с расходом 4-5 л/м². В результате суммарный расход и смачивателя и воды на исследуемых участках блока, составлял около 300 л на одну скважину.

Результаты исследований представлены в табл. 2. Как видно из результатов в данном случае пылеподавляющая способность раствора выше, чем у воды. Также следует отметить, что раствор не обладает свойствами нейтрализации вредных газов.

Таблица 2

Результаты исследований способа пылеподавления при взрывах с использованием твердой внутренней и внешней гидрозабойки, увлажненной смачивателем РП концентрации 0,5 мас.% и водой

Тип раствора для твердой гидрозабойки	Концентрация вредных выбросов после взрыва, мг/м ³			Концентрация вредных выбросов в подорванной горной массе, мг/м ³	
	пыль	СО	NO ₂	СО	NO ₂
Водный раствор РП концентрации 0,5 мас. %	440-480	400-410	7-9	200-250-280	7-8-9
Вода	640-660	380-420	8-9	240-270-280	7-8-10

На основании фундаментальных положений физической химии обоснуем причины, в результате которых при использовании для пылеподавления твердой внутренней и внешней забойки, увлажненной, смачивателем РП, концентрации 0,1 мас.%, масса выделившейся пыли больше чем при использовании твердой забойки увлажненной водой. Также рассмотрим вопрос, почему при увеличении концентрации водного раствора смачивателя РП до 0,5 мас.% его пылеподавляющая способность увеличивается и становится гораздо выше, чем у воды.

На основании положений изложенных в работе [2], это можно объяснить следующими свойствами поверхностно-активных веществ. Адсорбируясь и тем самым, понижая свободную поверхностную энергию жидкости или твердого тела, поверхностно-активные вещества облегчают процесс образования новых поверхностей, т.е. способствуют диспергированию в данной среде. При слабой молекулярной (коагуляционной) связи частиц в агрегаты или в пространственную сетку (коагуляционную структуру) достаточно сильная адсорбция облегчает диспергирование агрегатов на первичные частицы даже при самом слабом механическом воздействии – при перемешивании системы или возникновении конвективных потоков.

Поэтому в наших условиях, после выхода пылегазового облака в атмосферу, образовавшиеся пылевые агрегаты были разрушены или, в целом, они не могли образоваться в силу указанных физико-химических факторов. Это подтверждается результатами анализа дисперсного состава пыли в ПГО после взрывов с использованием в качестве материала гидрозабойки водного раствора смачивателя РП (табл. 3).

Таблица 3

Дисперсный состав (%) пылевых частиц, которые образуются после массовых взрывов в карьере ОАО «Ингулецкий ГОК» при использовании средств пылеподавления

Способ и средства пылеподавления (время года)	<1,4	1,4-4,2	4,2-10	10-15	15-30	30-45	45-100	>100
Твердая забойка увлажненная водой (июль)	-	-	16,99	25,49	22,29	20,06	12,03	3,14
Твердая забойка увлажненная раствором ПАВ, конц.0,1% (июль)	-	-	28,01	37,35	18,05	8,04	5,95	2,6
Гидрозабойка водяная (ноябрь)	-	-	-	24,76	34,67	25,81	11,24	3,52
Гидрозабойка с раствором ПАВ, конц.0,5% (ноябрь)	-	-	-	23,57	34,65	26,05	11,33	4,4

Дисперсный анализ пыли, отобранной из пылегазового облака после взрывов, показывает, что содержание ее наиболее мелких фракции над блоком, где для пылеподавления использовался раствор смачивателя РП, значительно выше, чем над блоком, где для этих целей использовалась вода. Например, содержание силикозоопасных фракций пыли размерами 4,2-10 мкм и 10-15 мкм больше, соответственно, на 11%, и 11,86%. Это подтверждает теоретические положения П.А. Ребиндера, что ПАВ могут диспергирующе влиять на пылевые агрегаты. При концентрации раствора смачивателя 0,5 мас.% и выше он приобретает пенообразующие свойства, в результате чего эффективность пылеподавления возрастает и становится гораздо выше, чем у воды.

При этом, как видно из табл. 3, в составе ПГО отсутствуют фракции менее 10 мкм и дисперсность пыли в облаке над блоком, где в забойках использовалась вода и раствор смачивателя - практически одинаковая.

Обращает на себя внимание следующий факт. В карьере ОАО «Ингулецкий ГОК» в качестве способа пылеподавления используется внешняя водяная гидрозабойка. Более ранние исследования ГП «НИИБТГ» показали, что максимальная эффективность пылеподавления при взрывах с использованием внешней гидрозабойки составляет 20 %. Поэтому основная масса пыли будет поступать в воздух рабочих зон карьеров и атмосферный воздух на окружающих территориях.

В табл. 4 приведен дисперсный состав пыли в воздухе рабочих зон карьера, а в табл. 5 дисперсность пыли в атмосферном воздухе на границе санитарно-защитной зоны от карьера ОАО «Ингулецкий ГОК» и от карьера № 3 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (ОАО «АМКР»).

Таблица 4

Дисперсный состав пыли в атмосфере карьера ОАО «ИнГОК»
через 2 часа после взрыва в различные периоды года

Время года	< 1,4	1,4-4,2	4,2-10	10-15	15-30	30-45	45-100	>100
Июль	59,45	21,62	14,86	2,7	0,97	0,25	0,11	0,04
Ноябрь	50,73	20,75	16,14	6,92	2,26	1,90	0,9	0,4

Таблица 5

Дисперсный состав пыли в атмосферном воздухе на границе СЗЗ после проведения массовых взрывов в карьерах ОАО «ИнГОК» и ОАО «АМКР» в летний период года

Объект взрыва, место отбора проб на границе СЗЗ	<1,4	1,4-4,2	4,2-10	10-15	15-30	30-45	45-100	>100
Карьер ОАО «ИнГОК», жилой массив Ингулец	51,16	39,12	6,02	3,00	0,44	0,21	0,05	-
Карьер №3 ОАО «АМКР» пос. Шевченко	70,46	20,72	5,53	2,76	0,24	0,18	0,18	-

Как видно из табл. 4 после взрывов в атмосфере карьеров 81% пыли имеют размер менее 4,2 мкм в летнее время и 71 % в осенний период года. При использовании в составе твердой забойки и гидрозабойки воды и водных растворов смачивателя РП субмикронные частицы пыли размером менее 4,2 мкм полностью отсутствуют. В атмосферном воздухе на границе СЗЗ содержание пылевых фракций менее 4,2 мкм составляет 91%. Следовательно, разработанный раствор позволяет связать наиболее силикозоопасные частицы пыли образующиеся после взрывов.

Определим эколого-экономический эффект от применения в скважинных гидрозабойках водного раствора смачивателя РП, концентрации 0,5 мас.%, по сравнению с использованием в гидрозабойках воды. В работе [3] приведены данные, согласно которым экологический ущерб от 1 т выбросов пыли достигает 210 долларов США. При курсе НБУ (на 26.05.09г.) 100 \$ США=761,6 грн. этот ущерб составляет 1599,36 грн. от 1 т пыли.

Данные табл. 2 свидетельствуют, что максимальная концентрация пыли в облаке после взрывов, при использовании в скважинных гидрозабойках воды, составляет 660 мг/м³, а при использовании водного раствора смачивателя РП – 480 мг/м³.

Многочисленные наши исследования показали, что эффективность пылеподавления при массовых взрывах в карьерах с использованием внутренней водяной гидрозабойки составляет в среднем 50%. Следовательно, принимаем, что без использования средств пылеподавления в скважинах концентрация пыли в облаке будет составлять 1320 мг/м³. Тогда эффективность пылеподавления при использовании смачивателя РП составит 63%. Наши расчеты показали, что объем ПГО после взрыва равняется 35728 м³ в пересчете на одну скважину. Простые расчеты показывают, что в этом случае масса пыли в облаке, при подрывании заряда в одной скважине, достигает 0,047 т. Следовательно, при эффективности пылеподавления 50% у воды, масса уловленной пыли составит 0,0235 т, а при 63 %-ной эффективности у смачивателя РП, масса уловленной пыли будет равна 0,0296 т. Путем умножения значения экологического ущерба от 1 т пыли, равного 1599,36 грн., на массу пыли уловленную, соответственно, водяной гидрозабойкой и гидрозабойкой из смачивателя РП получим значение экономического эффекта по критерию предотвращенного экологического ущерба.

Следовательно, экономический эффект, по критерию предотвращенного экологического ущерба, составит - при использовании в скважинах гидрозабоек с раствором смачивателя РП концентрации 0,5 мас.% - 47,34 грн. на одну скважину, а при использовании в гидрозабойках воды – 37,58 грн. на одну скважину.

Выводы. В результате выполненных исследований получены новые научные и практические результаты, заключающиеся в следующем.

Разработан новый состав – смачиватель РП для пылеподавления при массовых взрывах в карьерах на основе поверхностно-активного вещества – *n*-нонилового спирта.

Эффективное пылеподавляющее действие раствора проявляется с концентрации 0,5 мас.% и выше. При этих концентрациях раствор приобретает пенообразующие свойства, которые и обеспечивают эффективность пылеподавления. При более низких концентрациях раствор использовать нецелесообразно, так как он, например, при концентрации 0,1 мас.%, обладая высокой смачивающей способностью, диспергирующе влияет на пыль. Это приводит к росту концентрации пыли в ПГО.

Раствор не обладает свойствами нейтрализации вредных газов.

Разработанный раствор эффективно связывает субмикронные частицы пыли, размером менее 4,2 мкм, являющиеся наиболее силикозоопасными.

Применение водного раствора смачивателя РП в скважинных гидрозабойках для борьбы с пылью при массовых взрывах в карьерах, позволяет получить экономический эффект, по критерию предотвращенного экологического ущерба, который составляет 47,34 грн. на одну скважину.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск добавок к раствору смачивателя РП, которые способствовали бы образованию у него коагулирующих свойств, относительно пылевидных частиц пород.

Список литературы

1. Воровский А.А., Шлахов И.С. Влияние типа забойки на качество дробления и пылегазоподавления при массовых взрывах на карьерах // Проблемы предотвращения загрязнения воздушного бассейна при открытой разработке железных руд.- Тезисы доклада Всесоюзн. научн-техн. семинара.-Кривой Рог.: ЦНИИЧМ, 1990.-С.31-32.
2. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Избранные труды. П.А. Ребиндер. М.: Наука, 1978.-368с.
3. Мельник Л.Г. Екологічна економіка: Підручник.- Суми: ВТД «Університетська книга», 2003.-348с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 22.05.09*

УДК 622.578.684

© А.В. Зберовский, В.В. Марченко, К.М. Бас, И.А. Таран

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОХРАНЫ ТРУДА ВОДИТЕЛЕЙ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Рассмотрены принципы создания системы мониторинга охраны труда водителей большегрузных автосамосвалов с предупреждением о нарушениях скоростного режима движения автосамосвалов в карьерах путем применения радионавигационного оборудования и современных информационных технологий. Исследованы закономерности изменения скорости движения и приведены примеры реализации системы автоматизированного контроля скоростного режима движения автосамосвалов БелАЗ-7548 в карьерах Вольногорского ГМК.

Розглянуто принципи створення системи моніторингу охорони праці водіїв великовантажних автосамоскидів із запобіганням про порушення швидкісного режиму руху автосамоскидів в кар'єрах шляхом вживання радіонавігаційного устаткування і сучасних інформаційних технологій. Досліджені закономірності зміни швидкості руху і наведені приклади реалізації системи автоматизованого контролю швидкісного режиму руху автосамоскидів БелАЗ-7548 в кар'єрах Вільногірського ГМК.

Principles of creation of the system of monitoring of labour of drivers of quarry dump truck protection are considered with warning of violations of the speed mode of motion of avtosamosvalov in open cast by application of radionavigation equipment and sovre-modern of information technologies. Conformities to law of change the rate of movement are investigational and the examples of realization of the automated checking of the high-speed mode of motion of dump truck of BELAZ-7548 system are resulted in the open cast of Vol'nogorskogo GМК..

Введение. Каждый год на крупных карьерах Украины происходит в среднем 40 аварий в том числе со смертельным исходом из-за столкновения между карьерными автосамосвалами и другими машинами. Зачастую причиной аварии является нарушение водителем скоростного режима движения большегрузных автосамосвалов в карьерах. Предотвращение таких аварий, устранение

вредных и опасных факторов на рабочих местах, создание средств мониторинга охраны труда водителей карьерных автосамосвалов является актуальной научно-практической задачей, которая совпадает с направлениями Национальной Программы улучшения состояния безопасности, гигиены труда и рабочей среды, утвержденной КМ Украины 10.10.2001 г. № 1320 и отвечает Положениям статьи 13 Закона Украины «Об охране труда».

Последние достижения и формулирование научной задачи. Для решения проблем безопасности движения автосамосвалов на рабочих площадках карьеров в большинстве случаев применяются камеры видеонаблюдения и системы, основанные на радарах или обнаружении электромагнитных полей, которые не получили широкого распространения.

В последнее время, для предотвращения несчастных случаев при работе карьерного автотранспорта за рубежом используются различные автоматизированные системы. Например, система предупреждения приближения и обнаружения обрыва, основанная на технологии GPS и беспроводной коммуникационной сети. Такая система обеспечивает водителей информацией о местоположении обрыва дороги, ближайшего оборудования, небольших машин, пешеходных рабочих и стационарных препятствий. Точность определения местоположения около 2 м достаточна для эффективной работы системы.

Известна также система для предупреждения препятствий, созданная совместно исследователями из Spokane Research Laboratory Национального Института Охраны Труда и Здоровья (NIOSH) в сотрудничестве с компанией Trimble. Система для горных работ, состоит из GPS приемника и антенны, миниатюрного компьютера с жидкокристаллическим дисплеем, программного обеспечения для предупреждения препятствий и радиостанции в диапазоне 900 МГц с протоколом межсетевое взаимодействия (IP радио). Система была апробирована на карьере Phelps Dodge Mine (Моренси, Аризона, США) на двух единицах транспортировочного оборудования и двух машинах технического обслуживания горного оборудования.

Сегодня на крупных карьерах Украины используются технологии, основанные на определении местоположения с помощью GPS в их обычном применении – для маркшейдерских и геодезических работ, координирования и отслеживания горного и транспортного оборудования, точного позиционирования бурового оборудования и т.д. Например, на Вольногорском горно-металлургическом комбинате внедрена система диспетчеризации на основе спутниковой навигации для автоматизации работы горно-транспортного оборудования в карьерах [1]. Однако вопросы применения GPS и ГИС-технологии для создания системы мониторинга скоростных режимов карьерных автосамосвалов, обеспечивающей соблюдение норм техники безопасности и охраны труда, предотвращение аварий и предупреждение водителей о нарушениях скорости движения в карьере, до настоящего времени детально не исследованы.

Формулирование целей статьи, постановка задач. Целью работы является разработка системы мониторинга охраны труда водителей карьерных автосамосвалов. При этом были поставлены следующие задачи:

- определить принципы создания системы мониторинга охраны труда водителей карьерных автосамосвалов;
- исследовать скоростные режимы работы большегрузных автосамосвалов в условиях карьеров Вольногорского ГМК;
- установить закономерности нарушения скоростных режимов движения карьерных автосамосвалов БелАЗ-7548 в зависимости от метеофакторов окружающей среды и времени суток;
- разработать рекомендации по предупреждению нарушений норм охраны труда водителями карьерных автосамосвалов.

Изложение основного материала исследований.

Одним из важных технологических показателей эксплуатации карьерных автосамосвалов являются эксплуатационная скорость, учитывающая простои в течение рейса и внутрисменные простои, характеризующие потери автосамосвалами рабочего времени в течение смены в силу действия различных причин. Повышение значения среднетехнической эксплуатационной скорости движения автосамосвалов улучшает производственные показатели горнотранспортных работ в карьерах. В тоже время, в соответствии с Правилами безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом ДНАОП 1.2.90-1.01-94 согласно п. 318, скорость и порядок движения автомобилей на дорогах карьера устанавливается администрацией карьера с учетом местных условий. Например, в карьерах Вольногорского ГМК установлена скорость движения автосамосвалов БелАЗ-7548 не более 40 км/ч, за пределами карьера не более 20 км/ч, а для карьеров нерудных материалов с дорогами тяжелого профиля допустимая скорость движения автосамосвалов под уклон составляет 24 км/ч [2].

К существенным факторам, влияющим на скоростной режим эксплуатации карьерного автотранспорта, относятся: дорожные условия; климатические условия; режим работы (дневной, ночной, круглосуточный); горнотехнические условия (способ залегания полезного ископаемого, сложность выемки и транспортировки горных пород, эксплуатационные характеристики карьера); техническое состояние и структура парка большегрузных автосамосвалов (технические характеристики и типы применяемых автосамосвалов, их возраст и техническое состояние, состояние производственно-технической базы, квалификация обслуживающего персонала и т.д.). Существенную роль играет также и субъективный человеческий фактор, заставляющий водителей автосамосвалов превышать допустимые скорости движения в карьере в угоду увеличения количества ходок и сменной нормы выработки.

Таким образом, процесс движения автосамосвалов в карьерах представляет собой сложный, динамичный и ресурсоёмкий процесс, характеризующийся большой вариативностью условий эксплуатации, необходимостью высокой точности расчета и контроля скоростей движения, чтобы с одной стороны достичь максимально возможную среднетехническую эксплуатационную скорость движения автосамосвалов в заданных условиях, а с другой - обеспечить безопасность труда водителей, исключив превышения допустимых по правилам ТБ скоростей движения автосамосвалов. Особый интерес в этой связи

всегда уделялся скоростным режимам движения автотранспорта, т.к. этот параметр является одним из наиболее весомых направлений повышения их производительности.

Скорость является важнейшим параметром при планировании транспортного цикла. На скоростные режимы движения оказывают влияние многие факторы. При движении по различным участкам карьерных автодорог водитель автосамосвала стремится к повышению скорости, что приводит к росту производительности. Однако скорость движения не может быть выше значений, диктуемых условиями безопасности движения, особенностями эксплуатации крупногабаритных шин и тяговых двигателей.

Известно три подхода для изучения влияния различных факторов на скорость карьерного автосамосвала:

- применение зависимостей общей теории автомобилей, что дает, как правило, несколько завышенные результаты, т.к. не учитывает вероятностный характер транспортного процесса;

- применение экспериментальных методов получения данных о реальных скоростных режимах движения автосамосвалов в различных условиях и, затем, обработка их с помощью методов математической статистики и получение регрессивных зависимостей. Данный метод отличается достаточной точностью получения результатов, однако проведение натурных экспериментов требует достаточно больших материальных и временных затрат, а полученные регрессионные функции применимы только в горнотехнических условиях, типичных для данного карьера;

- применение имитационного моделирования с помощью вычислительной техники, что позволяет, как оценивать влияние на скорость каждого фактора в отдельности, так и комплекса факторов в целом.

Известна также математическая модель расчета оптимальных скоростных режимов движения автотранспорта в карьерах, в которой параметры уклонов дорог и значения удельного расхода топлива являются величинами переменными, а не заданными, что позволяет рассчитать оптимальную скорость движения транспортных средств, обеспечивающую минимальный удельный расход топлива и максимальную производительность [3].

Несмотря на достаточный объем разработок по моделированию работы автомобильных комплексов карьеров большинство разработок не доведены до практической реализации при проектировании и планировании горных работ в карьерах. Существующие методы и модели расчетов скоростных режимов движения автосамосвалов в карьерах не позволяют решать задачи дистанционного контроля скорости автосамосвала в реальном масштабе времени и автоматизированного управления охраной труда водителей карьерного автотранспорта с предупреждением их о нарушениях скоростного режима движения.

При создании системы мониторинга охраны труда водителей карьерных автосамосвалов нами были определены следующие основные принципы:

1. Использование дифференциальных GPS приемников и радиооборудования на всех автосамосвалах находящихся в карьере для:

- вычисления в реальном времени местоположения каждого автосамосвала;

- вычисления в реальном времени скорости движения каждого автосамосвала;
- передачи информация о местоположении и скорости движения каждого автосамосвала и её накоплении в компьютерной базе данных;
- подачи визуального и звукового предупреждения в кабину автосамосвала в момент, когда транспортное средство достигает допустимой по правилам ТБ скорости движения.

2. Использование цифровых планов карьеров, планов горных работ, планов территории карьера и геоинформационного обеспечения для создания трехмерных моделей карьеров и визуализации карьерной сети автодорог.

3. Использование GPS приемников карьерных автосамосвалов и средств электронной геодезии для поддержания в актуальном состоянии и обновлении трехмерной цифровой карты карьерных автодорог.

Указанный подход позволил разработать автоматизированную систему мониторинга охраны труда водителей карьерных автосамосвалов по фактору соблюдения скоростного режима движения на каждом этапе трассы без нарушения Правил безопасности в зависимости от сезона или погодных условий, в соответствии с изменением состояния дорог.

Исследования скоростных режимов работы большегрузных автосамосвалов были проведены в условиях карьеров Вольногорского ГМК, где в качестве транспортного оборудования применяются автосамосвалы БелАЗ-7548, грузоподъемностью 40 т. Измерения текущих координат, скорости и курса движения автосамосвала выполнялось с использованием штатного навесного навигационного оборудования, включающего GPS приемник с радиопередатчиком, размещенных над кабиной автосамосвала. Общий вид навесного навигационного оборудования автосамосвала БелАЗ-7548 приведен на рис.1.



Рис.1. Общий вид навигационного оборудования автосамосвала БелАЗ-7548

Система позволяет получать данные о скорости движения и координатах до 8 автосамосвалов в секунду, которые автоматически передаются и накапливаются в компьютерной базе данных на сервере диспетчера карьера. Был вы-

полнен компьютерный анализ более чем 2,5 млн. значений измеренных скоростей движения автосамосвалов в карьере за период 2007 и 2008 гг. в зависимости от времени суток и времени года и установлены все периоды нарушения скоростного режима движения автосамосвалов.

Проведенные исследования позволили установить ряд новых закономерностей связанных с нарушением скоростных режимов движения карьерных автосамосвалов БелАЗ-7548 в зависимости от метеофакторов окружающей среды и времени суток. На рис. 2. приведен пример графика скорости движения автосамосвала БелАЗ-7548 в карьере, полученный по результатам мониторинга его движения с применением GPS-датчика. По графическим данным установлено фактическое количество превышений допустимой скорости движения каждого автосамосвала в карьере в различное время суток в период 2007-2008 гг.

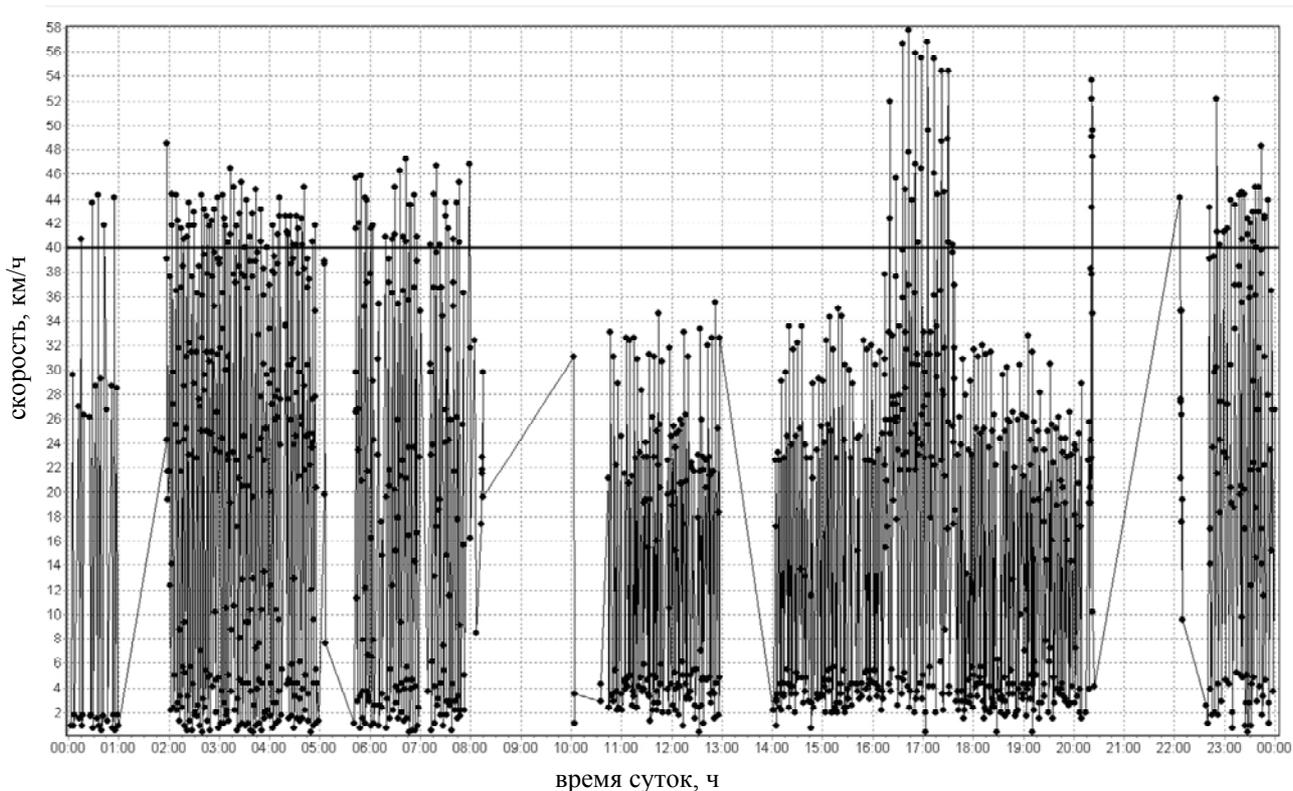


Рис. 2. Пример графика скорости движения автосамосвала БелАЗ-7548 в карьере

На рис. 3 представлены графики изменения фактического количества нарушений допустимой скорости движения всеми автосамосвалами БелАЗ-5748 в карьерах Вольногорского ГМК в различное время суток за период 2007 и 2008 гг. Установлено, что наибольшее количество нарушений происходит в периоды 6-8 и 15-17 часов.

На рис. 4. представлены графики изменения фактического количества нарушений допустимой скорости движения всеми автосамосвалами БелАЗ-5748 в карьерах по месяцам за период 2007-2008 гг. Установлено, что наибольшее количество нарушений скорости движения произошло в апреле (2007г.) и в июне (2008г.), наименьшее наблюдается в июле месяце.

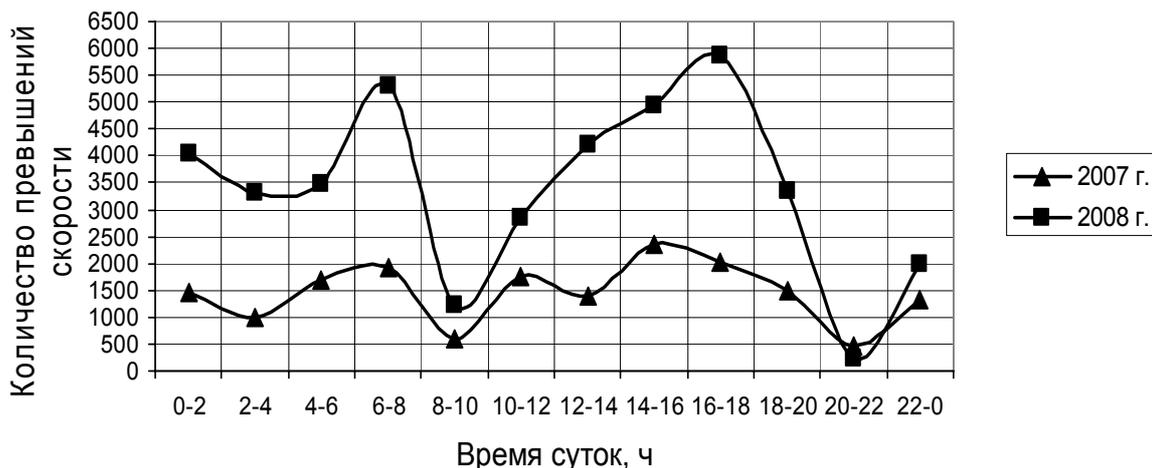


Рис. 3. Графики изменения фактического количества нарушений допустимой скорости движения автосамосвалами БелАЗ-5748 в карьере в различное время суток за период 2007-2008 гг.

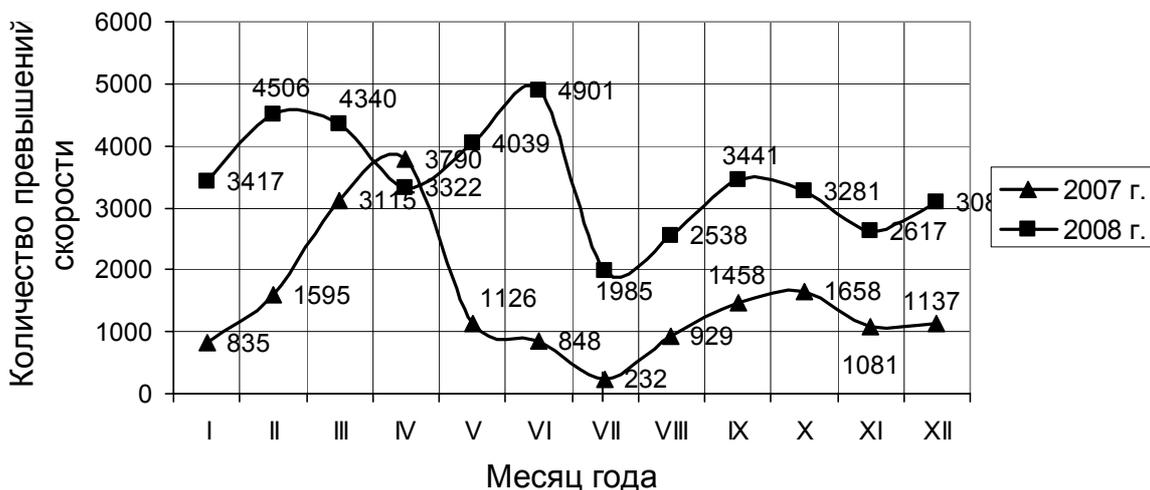


Рис. 4. Графики изменения фактического количества нарушений допустимой скорости движения автосамосвалами БелАЗ-5748 в карьерах по месяцам за период 2007-2008 гг.

Впервые установлены закономерности нарушения скоростных режимов движения карьерных автосамосвалов БелАЗ-7548 в зависимости от метеофакторов окружающей среды, в частности от температуры воздуха в карьере. На рис. 5 представлена зависимость максимальной скорости движения автосамосвалов в карьере от температуры воздуха, которая с достаточной степенью точности описывается полиномом 3-й степени вида

$$V = -0,0002 t^3 - 0,007 t^2 + 0,2383 t + 49,3236 \text{ км/ч}; R^2 = 0,9355$$

Как следует из представленных на графике данных, средние значения максимальных скоростей движения карьерных автосамосвалов наблюдаются в теплый период года при температуре воздуха от 5 до 25 °С, а минимальные при низкой (-20°С) и очень высокой (35°С).

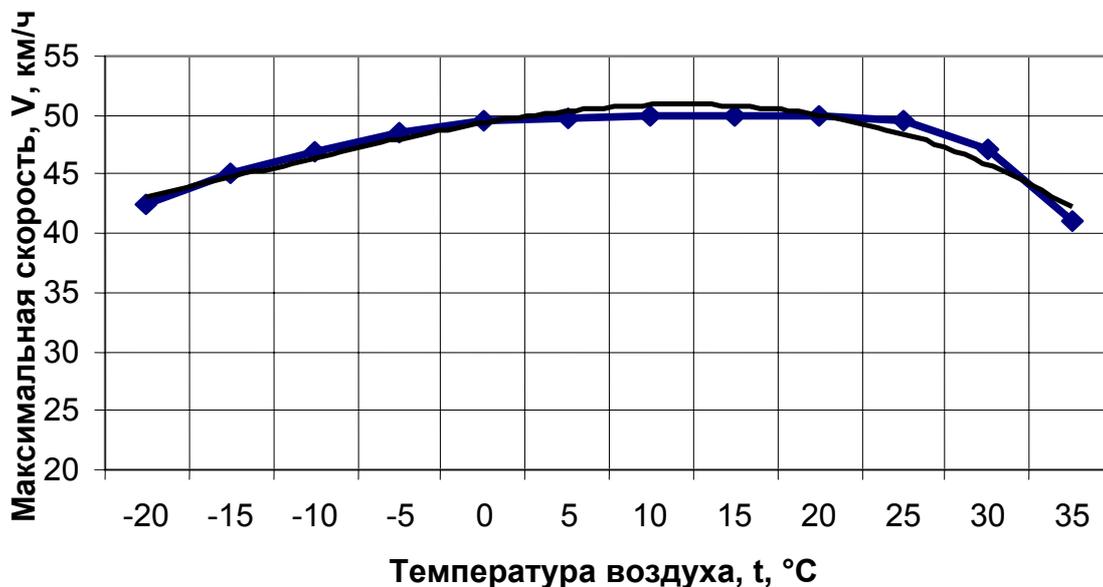


Рис. 5. График зависимости максимальной скорости движения автосамосвалов в карьере от температуры воздуха

Результаты выполненных исследований были использованы для разработки рекомендаций по предупреждению нарушений норм охраны труда водителями карьерных автосамосвалов.

Выводы:

1. Разработана система мониторинга охраны труда водителей карьерных автосамосвалов с применением приборов навигационного контроля, обладающая высокой достоверностью получаемых результатов.

2. Исследованы скоростные режимы работы большегрузных автосамосвалов в условиях карьеров Вольногорского ГМК. Выполнен компьютерный анализ более чем 2,5 млн. значений измеренных скоростей движения автосамосвалов в карьере за период 2007 и 2008 гг. в зависимости от времени суток и времени года. Установлены все случаи нарушения скоростного режима движения автосамосвалов в этот период.

3. Установлены закономерности нарушения скоростных режимов автосамосвалов БелАЗ-7548 в зависимости от метеофакторов окружающей среды и времени суток, в частности от температуры воздуха в карьере. Впервые получена зависимость максимальной скорости движения автосамосвалов в карьере от температуры воздуха.

Список литературы

1. Управление работой горнотранспортного оборудования на карьерах Вольногорского ГМК с применением радионавигационной системы /А.В. Зберовский, Б.Е. Собко, О.П. Козакевич, Ю.Д. Баранов, В.Г. Лисенко //Зб. наук. праць НГУ.- Дніпропетровськ: РИК НГУ.- 2006. - №25.- С. 221-230.

2. Нормы технологического проектирования предприятий промышленности строительных материалов.- Л.: Гипростройинженеруд, 1968.

3. Баранов Ю.Д. Математическая модель движения карьерного автосамосвала / Ю.Д. Баранов // Зб. наук. праць НГУ.- Дніпропетровськ: РИК НГУ.-2004.-Т.1, №19.-С. 93-102.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 05.06.09*

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

FORTIȘ Alexandra Emilia – Assistant Professor at the Faculty of Computers and Applied Computer Science, „Tibiscus” University of Timișoara, Romania

KARNYANSZKY Tiberiu Marius – Associate Professor, Ph.D., at the Faculty of Computers and Applied Computer Science, „Tibiscus” University of Timișoara, Romania

LACRAMĂ Laurențiu Dan – Associate Professor, Ph.D., at the Faculty of Computers and Applied Computer Science, „Tibiscus” University of Timișoara, Romania

Азюковський Олександр Олександрович – кандидат техн. наук, доцент кафедри електроприводу НГУ, м. Дніпропетровськ

Бас Константин Маркович – кандидат техн. наук, доцент, зав. каф. автомобилей и автомобильного транспорта НГУ, г. Днепропетровск

Белоброва Елена Владиславовна – ассистент каф. экономики промышленности и организации производства, аспирант каф. Автоматизация производственных процессов Украинского Государственного химико-технологического университета, г. Днепропетровск

Бойко Александрович Владимирович – кандидат техн. наук, с.н.с. кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины, г. Днепропетровск

Бойко Владимир Александрович – доктор техн. наук, профессор кафедры АОТ НГУ, г. Днепропетровск

Борсук Сергей Павлович – ассистент каф. Национального авиационного университета, г. Киев

Vublikov A.V. (Бубликов Андрей Викторович) – ассистент кафедры АКС НГУ, г. Днепропетровск

Гавриш Анатолий Васильевич – кандидат техн. наук, доцент кафедры программного юбеспечения компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск

Гаркуша Ігор Миколайович – кандидат техн. наук, доцент кафедри геоінформаційних систем НГУ, м. Дніпропетровськ

Gruhler G. (Грюллер Герхард) – доктор инженерных наук, професор кафедры мехатроники университета FH-Reutlingen, Германия

Ермак Леонид Дмитриевич – кандидат хим. наук, доцент Криворожского технического университета

Єфіменко Андрій Анатолійович – аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НГУ, м. Дніпропетровськ

Зберовский Александр Владиславович – доктор техн. наук, с.н.с., руководитель учебно-научного Центра горных информационных технологий НГУ, г. Днепропетровск

Ирклиевский Владимир Денисович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедры автоматизированного управления технологическими процессами топливно-энергетического комплекса Донбасского государственного технического университета.

Кмитина Ирина Вячеславовна – аспирант кафедры автоматизации и компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск

Ковалев Виктор Максимович - кандидат техн. наук, с.н.с. ООО «НТЦ «ВНИИХИМПРОЕКТ», г. Киев

Кожевников Антон Вячеславович – кандидат техн. наук, доцент кафедры автоматизации и компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск

Кожевников Вячеслав Леонидович – кандидат техн. наук, профессор кафедры автоматизации и компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск

Котов Юрий Тихонович – кандидат техн. наук, доцент Криворожского технического университета

Креденцар Светлана Максимовна – аспирант, ассистент кафедры аэронавигационных систем Института информационно-диагностических систем НАУ, г. Киев

Кузнецов Георгій Віталійович – доктор техн. наук, директор Міжгалузевого інституту безперервної освіти, зав. каф. електроніки та обчислювальної техніки НГУ, г. Дніпропетровськ

Лавренчук Сергій Сергійович – студент факультету прикладної математики НТУ «КПІ», м. Київ

Марченко Вячеслав Владимирович – аспірант НГУ, г. Днепропетровск

Мазур Руслан Анатольевич – ассистент каф. АКС НГУ, г. Днепропетровск

Машковский Роман Анатольевич – магистрант Запорожской государственной инженерной академии

Мещеряков Леонид Иванович – кандидат техн. наук, доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск

Николаенко Анатолий Николаевич – кандидат техн. наук, профессор, зав. кафедрой АУТП Запорожской государственной инженерной академии

Познанский Павел Сергеевич – аспірант кафедры автоматизированного управления технологическими процессами топливно-энергетического комплекса ДонГТУ, г. Донецк

Попов Сергей Витальевич – кандидат техн. наук, старший научный сотрудник ПНИЛ АСУ Харьковского Национального университета радиоэлектроники

Прошниченко Виктория Вячеславовна – магистр каф. программного обеспечения компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск

Саміра Ебрахімі Кахоу – аспірантка кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем факультету прикладної математики НТУ «КПІ», м. Київ

Синеглазов Виктор Михайлович – доктор техн. наук, директор института, профессор Национального авиационного университета, г. Киев

Сулема Євгенія Станіславівна – кандидат техн. наук, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем факультету прикладної математики НТУ «КПІ», м. Київ

Таран Игорь Александрович – кандидат техн. наук, доцент, зав. каф. управления на транспорте НГУ, г. Днепропетровск

Товстоног Николай Макарович – кандидат техн. наук, доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск

Тыщук Владимир Юрьевич – кандидат техн. наук, зав. лабораторией промышленной экологии Государственного предприятия «НИИ безопасности труда и экологии в горнорудной и металлургической промышленности (ГП «НИИБТГ»», г. Кривой Рог.

Цвіркун Леонід Іванович – кандидат техн. наук, професор кафедри АКС НГУ, м. Дніпропетровськ

Яворская Елена Александровна – ассистент кафедры аэрологии и охраны труда НГУ, г. Днепропетровск

Ясир Юсеф Хуссейн Аль Хатиб – аспірант кафедри программного обеспечения компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск

ЗМІСТ

1.	И.В. Кмитина, Л.И. Цвиркун Расчет загрузки канала CAN сети системы контроля работы конвейерных линий угольной шахты	5
2.	Р.А. Мазур Алгоритм модальной идентификации параметров объекта регулирования в микропроцессорном электроприводе	10
3.	Dan L. Lacrama, Tiberiu M. Karnyanszky, Alexandra Fortis Flexible word division into characters	16
4.	G. Gruhler, A.V. Bublikov Operating principle and kinematical structure of a novel drive system for mobile robots	20
5.	Р.А. Машковский, А.Н. Николаенко Совершенствование управления асинхронным электроприводом на базе нечеткого логического регулятора.....	27
6.	В.Л. Кожевников, А.В. Кожевников Методика определения времени опроса измерительных преобразователей в системах телемеханики.....	35
7.	П.С. Познанский, В.Д. Иркилевский Автоматизация процесса управления производительностью угледобывающего комплекса	41
8.	Е.В. Белоброва Оптимальное управление совмещенными процессами с распределенными управляющими воздействиями	48
9.	Г.В. Кузнецов, О.О. Азюковський, А.А. Єфименко Інформаційна технологія «GRID» - можливості, розвиток і використання	55
10.	В.М. Синєглазов, С.П. Борсук Оцінювання успішності слухача та автоматизованої системи навчання	60
11.	Л.И. Мещеряков, Ясир Юсеф Хуссейн Аль Хатиб, В.В. Прошниченко Программное обеспечение интеллектуальной идентификации состояний барабанных мельниц	66
12.	С.М. Креденцар Структура канала вывода информации на экран аэронавигационной геоинформационной системы реального времени.....	72
13.	С.В. Попов Специализированные архитектуры искусственных нейронных сетей на базе гибридных нейроподобных элементов	76
14.	В.В. Яворская, А.Н. Коваленко Использование нейронных сетей для разрешения нелинейных расчётных схем сетевых моделей вентиляционных систем шахт ...	82
15.	Є.С. Сулема, Саміра Ебрахімі Кахоу, С.С. Лавренчук Віртуальна мультимедійна лабораторія: особливості організації та обробки даних	90
16.	А.В. Гавриш, Н.М. Товстоног Учет нежесткости конструкции в математической модели вращательного движения космического аппарата.....	96
17.	І.М. Гаркуша, О.В. Грищенко Класифікація типів земного покриття багатоспектрального космознімку засобами MultiSpec	104
18.	В.А. Бойко, А. В. Бойко Способ ускоренного формирования теплоуравнивающей рубашки горной выработки глубокой шахты	113
19.	В.Ю. Тыщук, Л.Д. Ермак, В.М. Ковалев, Ю.Т. Котов Исследование влияния водных растворов поверхностно-активных веществ в скважинных гидразабойках на эффективность пылеподавления при массовых взрывах в карьерах.....	125
20.	А.В. Зберовский, В.В. Марченко, К.М. Бас, И.А. Таран Разработка автоматизированной системы мониторинга охраны труда водителей карьерных автосамосвалов	133
21.	Відомості про авторів.....	141

**Збірник наукових праць
Національного гірничого університету
№ 33, том 2**

Підписано до друку 02.07.2009. Формат 60x84/16.
Ум. друк. арк. 7,2. Обл.-вид. арк. 7,2.
Тираж 100 прим. Зам. № 175

Підготовлено до видання та видруковано
у Національному гірничому університеті.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК №1842.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19