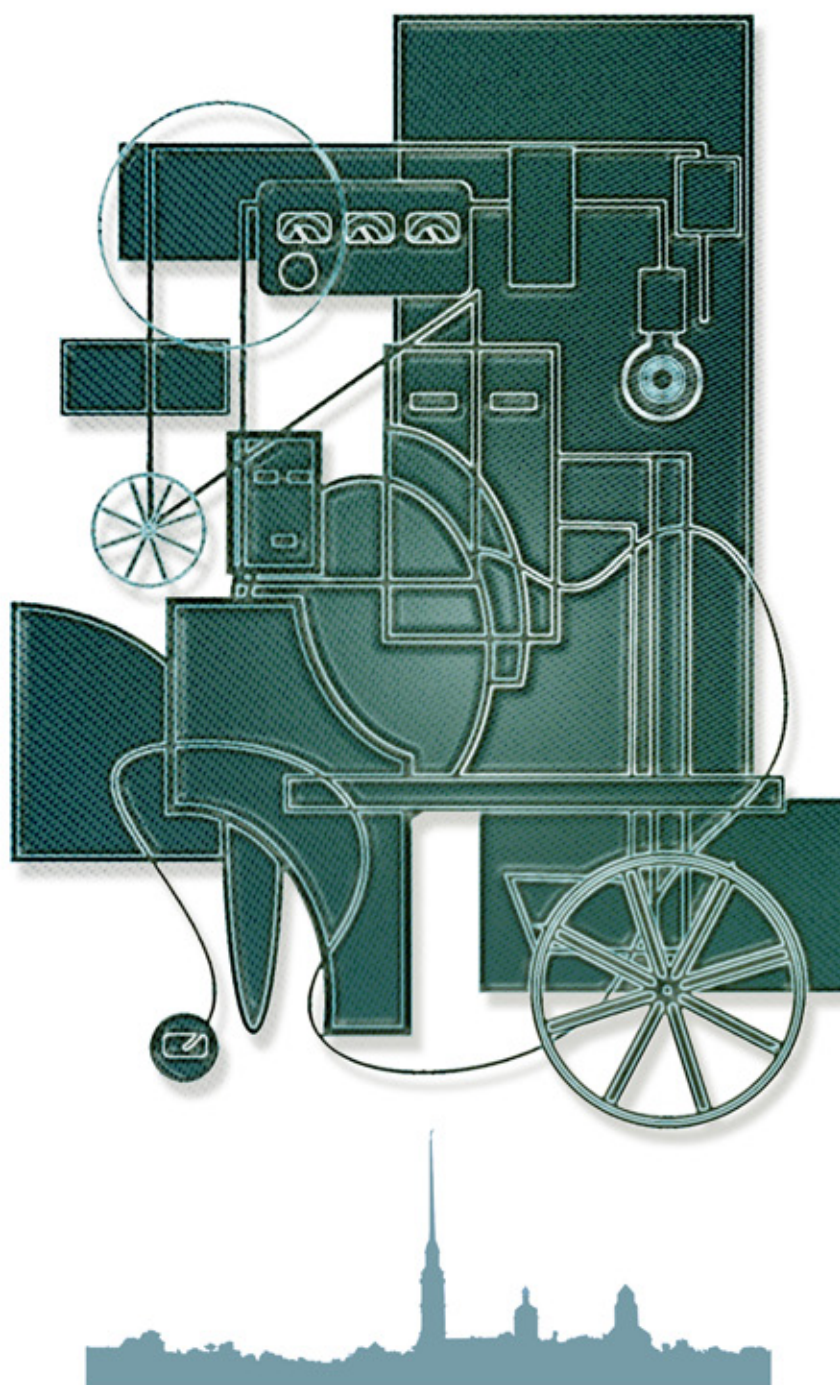


Международная заочная научная конференция

# «Технические науки: проблемы и перспективы»



Санкт - Петербург

УДК 62(01)  
ББК 30  
Т38

Редакционная коллегия сборника:

*Г.Д. Ахметова, М.Н. Ахметова, О.А. Воложанина, С.Н. Драчева,  
Ю.В. Иванова, М.Г. Комогорцев, К.С. Лактионов*

Ответственный редактор: *О.А. Шульга*

**Технические науки:** проблемы и перспективы: материалы междунар. заоч. науч. конф.  
Т38 (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.) / Под общ. ред. Г.Д. Ахметовой. — СПб.: Реноме, 2011. —  
214 с., ил.

ISBN 978-5-91918-077-7

В сборнике представлены материалы международной заочной научной конференции «Технические науки: проблемы и перспективы». Рассматриваются вопросы информатики и кибернетики, электроники, радиотехники, связи, автоматики и вычислительной техники, электротехники, энергетики, металлургии, машиностроения и строительства.

Предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов технических специальностей, а также для широкого круга читателей.

УДК 62(01)  
ББК 30

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Абдулаева У.А.</b> Проектирование высокочастотных широкополосных дискретных фазовращателей. . . . .	6
<b>Артюхов Ю.В.</b> Некоторые технологии шифрования, применяемые в сотовых сетях третьего и четвёртого поколения. . . . .	8
<b>Атопшев Ю.С., Ушкар М.Н.</b> Методика проектирования помехоустойчивых высокоскоростных монтажных плат. . . . .	11
<b>Макатова В.Е., Ахметов С.М., Тулеуова Р.О.</b> Обоснование методики учета температуры при исследованиях и расчетах напряженно-деформированного состояния стержневых элементов проектируемых машин. . . . .	16
<b>Баженова С.И.</b> Получение высококачественного бетона с использованием модификаторов структуры на основе отходов промышленности . . . . .	23
<b>Гайсин В.Ф., Ровенская В.Р.</b> Система планирования распределения финансовых ресурсов в условиях оперативной обработки данных . . . . .	25
<b>Гарькин И.Н.</b> Анализ причин обрушений промышленных зданий . . . . .	27
<b>Гоголина Л.С.</b> Моделирование производственных процессов предприятий машиностроительного комплекса с помощью конечных автоматов . . . . .	29
<b>Григорьев Я.Ю., Григорьева А.Л.</b> Оптимизация выполнения строительно-монтажных работ при неблагоприятных климатических условиях. . . . .	34
<b>Гультяева Т.А., Попов А.А.</b> Классификация последовательностей, порожденных близкими скрытыми марковскими моделями, при наличии шума . . . . .	37
<b>Данатаров А.</b> Аэрационный дренаж в условиях Туркменистана . . . . .	41
<b>Данатаров А.</b> Рыхлительные агрегаты нового поколения в условиях аридной зоны. . . . .	42
<b>Данатаров А.</b> Эффективность нарезчика аэрационного дренажа на тяжелых почвах аридной зоны . . . .	43
<b>Дачева А.В.</b> Особенности режущего инструмента с многофункциональным покрытием для резания труднообрабатываемых материалов. . . . .	45
<b>Демурин В.Б.</b> Использование интеллектуальных систем для управления гостиничными комплексами . .	48
<b>Жирнова Л.В., Мошкин В.В.</b> Анализатор сигналов инфракрасного пульта дистанционного управления. .	52
<b>Zira Alexey</b> The heat pump . . . . .	55
<b>Иванов М.Л.</b> Анализ и моделирование механического поведения кирпичной кладки, как упруго-хрупкой системы. . . . .	58
<b>Клеветов Д.В.</b> Разработка технологии автоматизации процесса монтажа печатных плат с применением механизмов с параллельной кинематикой. . . . .	62

<b>Краевский Я.П.</b> Существующий опыт в разработке моделей деятельности образовательных учреждений .....	67
<b>Кузнецов Б.В.</b> Повышение эффективности аэрокосмических тренажеров для подготовки космонавтов к действиям в чрезвычайных ситуациях .....	70
<b>Курочкин Л.М.</b> Открытая реляционная модель данных технологических возможностей промышленных предприятий .....	72
<b>Кутуков Д.С.</b> Применение методов кластеризации для обработки новостного потока .....	77
<b>Лагереv И.А.</b> Увеличение грузоподъемности крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов «АСТ-4-А» .....	83
<b>Латыпова В.А.</b> Развитие электронного образования в России: тенденции и перспективы .....	85
<b>Бирюкова Н.М., Липай М.С., Соколов В.Г.</b> Исследование сплавов на основе никеля, применяемых в электронном приборостроении .....	89
<b>Мадорская Ю.М.</b> Повышение точности и сокращение времени планирования в процессах управления проектами по разработке программного обеспечения .....	92
<b>Макарова О.С.</b> Моделирование непреднамеренного распространения информации пользователем. ...	99
<b>Меркурьев Ю.М.</b> Моделирование функционирования систем регенерации воздуха для расчета их надежности .....	103
<b>Милосердов Е.Е.</b> Необходимые решения для продления срока службы роторных экскаваторов. ....	106
<b>Минько Р.Н.</b> Увеличение эффективности эксплуатации транспортных средств за счёт применения механизации производственного процесса .....	108
<b>Митягина М.О.</b> Сверлящие перфораторы с электрогидравлической системой и логическим управлением. ....	110
<b>Мусаев А.А.</b> Разработка математической модели рабочего процесса двухкамерного устройства для газовой листовой штамповки .....	114
<b>Нагаев А.А.</b> Влияние электроискровой подгонки на распределение электрических полей в пленочном резисторе .....	117
<b>Нигмедзянова Е.С.</b> DFD-моделирование потоков регионального промышленного кластера .....	121
<b>Никитин М.С., Рябов А.В.</b> Исследование возможности расширения марочного сортамента легкообрабатываемых сталей .....	123
<b>Одинцов М.В.</b> Анализ процесса литья алюминия в кристаллизаторе с подвижным дном .....	126
<b>Пантелеева Л.Р.</b> Интенсификация теплообмена в пружинно-винтовых каналах .....	129
<b>Орлов А.А., Провоторов А.В., Астафьев А.В.</b> Разработка методики автоматической идентификации промышленных изделий на основе анализа методов маркировки .....	132
<b>Иванов В.В., Пряхникова А.А.</b> Перспективы применения режущих инструментов с СМП российского производства .....	134
<b>Райкова О.А.</b> Нестрогое сопоставление записей реляционных баз данных с использованием редакционного расстояния между кортежами и ключевого набора атрибутов. ....	137
<b>Раскатов Е.Ю.</b> Теоретическое и экспериментальное исследование нагрузок главной линии пильгерстана .....	140
<b>Месропян А.В., Рафикова Э.И.</b> Автоматический комплекс конвейерного типа .....	142
<b>Рожков М.М.</b> Актуальность 2D алгоритмов в определенных задачах автоматического распознавания человека .....	145
<b>Розметов К.С.</b> Подготовка семян хлопчатника и технология сева .....	147
<b>Розметов К.С.</b> Эффективность предпосевной обработки семян хлопчатника .....	148
<b>Симоненко Д.Н.</b> Компонентно-безъядерная архитектура операционной системы. ....	149
<b>Симоненко Д.Н.</b> Современные подходы к повышению отказоустойчивости операционных систем ...	153



<b>Симоненко Д.Н.</b> Доменный подход к повышению отказоустойчивости систем выполнения .....	156
<b>Симоненко Д.Н.</b> Повышение отказоустойчивости операционных систем. ....	159
<b>Идиятуллин Р.Г., Смердова Т.Е., Вдовин А.М., Попов А.В.</b> Методика оценки надежности изоляции секций катушек синхронных машин .....	163
<b>Иванов В.А., Сотникова Н.В.</b> План обеспечения электромагнитной совместимости при проектировании радиоэлектронного средства. ....	165
<b>Иванов В.А., Сотникова Н.В.</b> Полунатурное моделирование радиоэлектронных систем .....	167
<b>Анисимов А.В., Сурменок П.А.</b> Автоматизация процесса проектирования космических аппаратов с использованием численных методов. ....	169
<b>Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Трахтенгерц М.С.</b> Построение базы данных по свойствам нанотрубок и материалов .....	170
<b>Требухин А.Г.</b> Принципы проектирования систем автоматизации повышенной отказоустойчивости и надежности .....	173
<b>Узаков Г.Н.</b> Энергосбережения при утилизации теплоты вентиляционных выбросов в рекуперативном теплообменнике .....	177
<b>Ушаков А.С.</b> Методы сейсмоизоляции фундаментов сооружений. ....	180
<b>Фролова С.В., Никонорова Л.И., Бобрович Л.В., Аникьева Э.Н.,</b> Прикладное использование технических наук в сельскохозяйственных исследованиях .....	186
<b>Чекотило Е.Ю.</b> Итерационная процедура высокоточного совмещения аффинно-преобразованных изображений .....	188
<b>Шарапова О.Ю.</b> Создание численной модели индукционно нагревательной установки периодического действия в среде наукоемкого расчетного программного комплекса FLUX .....	191
<b>Шифрис Г.В.</b> Использование предварительного масштабирования для повышения качества видеопотока .....	195
<b>Поезжаева Е.В., Юшков В.С.</b> Управление движением змеевидного микроробота .....	205
<b>Юшков Б.С., Бургунутдинов А.М., Юшков В.С.</b> Исследование долговечности дорожной горизонтальной разметки в климатических условиях Урала. ....	208
<b>Алексеев В.А.</b> Перспективы крупнопористых бетонов в жилищном и гражданском строительстве. ....	212

## Проектирование высокочастотных широкополосных дискретных фазовращателей

Абдулаева У.А., кандидат технических наук, ст.преподаватель  
Дагестанский государственный технический университет

**Ш**ирокополосные многодискретные фазовращатели (МДФ) нашли широкое применение в контрольно-проверочной аппаратуре для проверки бортового и наземного оборудования различных систем, в фазированных антенных решетках, измерительных приборах и т.д.

Фазовращатели СВЧ наиболее употребительны в фазированных антенных решетках систем сверхбыстрой обработки информации, измерительной аппаратуре широкого назначения. По характеру изменения фазы различают плавные и дискретные фазовращатели. Они могут быть как проходными (четырёхполюсники), так и отражательными (двухполюсники — отражательные секции) известные отражательные и проходные фазовращатели, реализованные в виде плоскостной конструкции (на базе несимметрично-полосковых линий), не обеспечивают высокой точности требуемого фазового сдвига и низкого уровня паразитной амплитудной модуляции в широкой полосе частот. Для улучшения этих параметров необходимо ввести подстроечные элементы, что сужает полосу рабочих частот [2].

Одним из основных параметров, характеризующих МДФ, являются максимальный фазовый сдвиг и минимальный дискрет. На практике максимальный фазовый сдвиг равен  $360^\circ$ , а дискрет вносимого фазового сдвига около  $1^\circ$ .

Обеспечение этих параметров в широкой полосе частот является проблемой [1,2].

Целью статьи является рассмотрение принципов построения широкополосных высокоточных многодискретных фазовращателей.

В [1,2] рассмотрен один подход при построении МДФ: формирование требуемых фазовых сдвигов непосредственно на несущей частоте. Недостатком этого подхода является трудность обеспечения в широкой полосе (более 100%) фазовые сдвиги до  $360^\circ$  с дискретом около  $1^\circ$ .

Нами предлагается следующий подход построения МДФ: формирование требуемых фазовых сдвигов на одном низкочастотном сигнале с последующим преобразованием в рабочий диапазон частот.

При этом подходе частота сигнала, на котором осуществляется формирование фазовых сигналов, необходимо выбрать относительно низкой и удобной для реализации устройств, формирующих фазовые сдвиги. Это позволит выполнить более просто предъявляемые к ним требования по точностным характеристикам.

Предлагаем реализовать предложенный подход при построении МДФ на базе однополосного модулятора (ОМ) (рис. 1).

Основным требованием к ОМ является подавление несущей частоты и одной из боковых гармоник до определенного значения, которая не будет влиять на фазовые сдвиги оставшейся боковой гармоники.

Нами экспериментально проверен предложенный подход построения МДФ на базе ОМ, построенного по фазокомпенсационному способу. На рис. 2 приведена структурная схема ОМ.

Принцип работы ОМ заключен в следующем: ВЧ сигнал, поступивший на вход, разветвляется и симметризуется в синфазном делителе Д и амплитудоравные сигналы, проходя через фазовращатели ФВ1 и ФВ2, приобретают постоянный фазовый сдвиг, равный  $90^\circ$ . В балансных модуляторах БМ1 и БМ2 высокочастотные сигналы модулируются НЧ сигналом. Далее сигналы с балансных модуляторов суммируются в сумматоре С, причем компоненты несущей частоты практически отсутствуют (подавленные в БМ1 и БМ2), а составляющие верхней боковой частоты, в силу приобретенных фазовых соотношений на выход не попадают. В модуляторе формируются однополосный сигнал разностной частоты. Частота модулирующего сигнала составляет 5 кГц, полоса

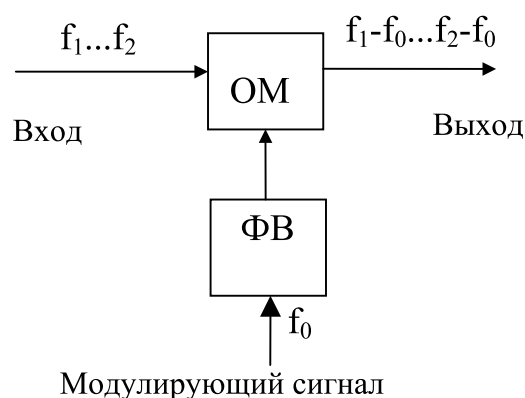


Рис. 1. Структурная схема МДФ

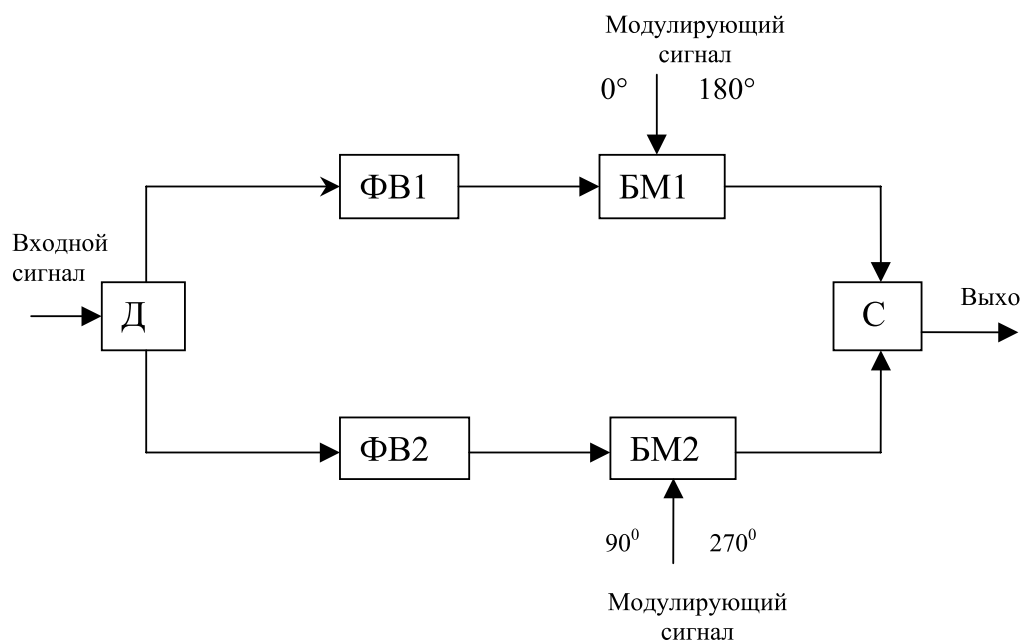


Рис. 2. Структурная схема модулятора

Таблица 1

Фаза модулирующего сигнала, град.	Фаза выходного ВЧ сигнала, град.			
	Частота ВЧ сигнала, МГц			
	100,005	200,005	300,005	400,005
$f = 5$ кГц				
1,40625	1,406	1,408	1,411	1,416
2,8125	2,813	2,816	2,817	2,89
5,625	5,630	5,632	5,634	5,639
11,25	11,23	11,3	11,34	11,39
25,5	22,6	22,9	22,95	23,00
45	45,4	45,46	45,6	45,7
90	90,1	90,5	90,9	90,60
180	180,2	180,2	180,6	180,75
360	360,2	360,8	360,9	360,25

частот ВЧ сигнала — 100–400 МГц. Фаза модулированного сигнала меняется с дискретом 1,40625° от 0° до 360°.

Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

Однополосная модуляция позволяет подавить несущую и одну боковую гармонику до уровня 28 дБ. Экспериментальные исследования подтверждают возможность создания широкополосных дискретных фазовращателей с фазовой ошибкой не более 1° на базе описанного ОМ.

Необходимо отметить, что подавление несущей частоты и второй боковой гармоники разработанного об-

разца однополосного модулятора составили 29 дБ в полосе частот. Для создания высокоточных фазовращателей на основе предложенного принципа, работающих более двухоктавной полосе частот, возникает проблема обеспечения подавления гармоник не менее 29 дБ. Нами исследуются вопросы выявления необходимого уровня подавления гармоник для обеспечения необходимой ошибки вносимого фазового сдвига. Результаты этих исследований опубликуем в последующих наших работах.

Рассмотренный принцип построения МДФ позволяет реализовать фазовращатели с высокими точностными характеристиками в широких диапазонах частот.

### Литература

1. Г.С. Хижа, И.Б. Вендик, Е.А. Серебрякова. СВЧ фазовращатели и переключатели. М.: Радио и Связь, 1984.
2. Е.И. Нефедов, А.С. Саидов, А.Р. Тагилаев. Широкополосные микрополосковые управляющие устройства СВЧ. М.: Радио и Связь, 1994.

## Некоторые технологии шифрования, применяемые в сотовых сетях третьего и четвёртого поколения

Артюхов Ю.В., аспирант

Ставропольский государственный университет

Технология беспроводной связи в сотовых сетях и передачи данных по таким сетям (например, GPRS, EDGE, WCDMA и HSPA) остается оптимальным для обеспечения связи. Данная технология и сейчас продолжает совершенствоваться, особенно это касается передачи данных. Скорость скачивания информации может достигать 7,2 Мбит/с, и уже есть образцы оборудования, которое способно передавать информацию со скоростью в 14,4 Мбит/с.

Технологии широкополосного доступа по беспроводной сети развиваются стремительными темпами [1, 2]. Если задача сводится только к росту быстродействия, то завоевание новых высот происходит довольно просто — нужно использовать новые методы кодирования данных. Однако на практике высоких скоростей недостаточно. Требуются более серьезные преобразования. Переход на стандарты следующего поколения (4G) может ознаменовать собой эволюцию в технологиях передачи информации. Один из возможных вариантов для сетей будущего — технология LTE.

Разработка сетей LTE (Long-Time Evolution) началась 2004 году. На начальном этапе разработки решались проблемы передачи сигналов на физическом уровне. Для рассмотрения были отобраны два варианта: развитие существующего радио интерфейса WCDMA, применяемого в HSPA, и создание нового стандарта на основе технологии ортогонального частотного разделения каналов с мультиплексированием OFDM. Был выбран второй вариант, а стандарт получил название UMTS LTE (буквально «долговременное развитие технологии UMTS»).

Начальные характеристики LTE были выработаны в ходе разработки спецификации 3GPP Release 7. На тот момент нужно было увеличить среднюю скорость для нисходящего соединения (от базовой станции к абоненту) до 100 Мбит/с, т. е. в 3–4 раза превысить параметры спецификации HSDPA Release 6. Для восходящего соединения (от абонента до базовой станции), где в качестве эталона были характеристики HSUPA, предлагалось превысить их в 2–3 раза, обеспечив скорость отправки данных до 50 Мбит/с.

С точки зрения эксплуатационных характеристик при разработке LTE в приоритет ставилось выполнение следующих задач:

- сокращение задержек при установке соединений и передаче данных;
- оптимизация технологии передачи данных, для увеличения быстродействия во время обмена данными и упрощение общей архитектуры работы системы;

Все нововведения должны были привести к созданию абонентских терминалов с разумным потреблением мощности.

К декабрю 2008 г. новая версия спецификации 3GPP (версия 8) была признана достигшей зрелости. Ее развитие было приостановлено, а выработанные параметры закреплены как базовые для LTE. Такое решение стало сигналом для промышленности начать выпуск первых партий коммерческих продуктов. Выпущенная два года назад спецификация LTE в целом сохраняет базовые свойства и поныне. Однако процесс ее развития продолжается. В декабре 2009 г. была выпущена версия 9 спецификации 3GPP с рядом усовершенствований. В июне 2010 г. увидела свет уже новая, десятая редакция 3GPP, в которой основное внимание уделено стандарту LTE Advanced.

Немаловажным аспектом функционирования сотовых сетей является защита информации и шифрование данных. В подобных системах в разное время использовались различные методы защиты. Примером алгоритмов шифрования для сотовых сетей могут служить A3, A5, A8, A5/3. Кратко проведем обзор каждого из них.

A3 — это алгоритм, применяемый в процессе аутентификации, в глобальном цифровом стандарте для мобильной сотовой связи. A3 используется как элемент обеспечения конфиденциальности разговора в GSM. Основной задачей алгоритма является генерация отклика SPES на определенный случайный пароль RAND, который телефон получает от центра коммутации MSC. Непосредственно A3 содержится в SIM-карте.

Формат данных обрабатываемых данным алгоритмом A3, а также весь процесс аутентификации строго определены консорциумом 3GPP. A3 — это не стандартизированный алгоритм. Выбор принципа действия лежит на операторе. Однако если оператор не хочет придумывать свой алгоритм A3, он может воспользоваться стандартной реализацией алгоритма. В настоящее время принят следующий формат входных и выходных данных RAND, Ki, SRES алгоритма A3: длина Ki — 128 бит длина RAND — 128 бит длина SRES — 32 бита. Время работы алгоритма ограничивается временем < 500 миллисекунд [3].

A5 — это поточный алгоритм шифрования для обеспечения конфиденциальности передаваемых данных между телефоном и базовой станцией оператора, которая использует европейскую систему мобильной цифровой связи [4].

Шифр образуется в результате сложения по модулю два шифруемой информации и псевдослучайной последовательности. В алгоритме шифрования A5 псевдослу-

чайная последовательность реализуется на основе трех линейных регистров сдвига с применением обратной связи. Регистры имеют длины 19 бит, 22 бита и 23 бита. За управление сдвигами отвечает специальная схема, которая организует на каждом шаге смещение регистров. Последовательность формируется операцией XOR над выходными битами регистров.

A8 — алгоритм, предназначенный для генерации шифрующих ключей. Он используется для обеспечения конфиденциальной пересылки информации по радиоканалу наряду с A3 и A5. Сеансовый ключ  $K_c$ , сформированный алгоритмом A8 предназначен для потокового шифрования в канале связи между носимой радиостанцией (сотовым телефоном) и базовой станцией после успешной аутентификации. Процесс формирования ключа  $K_c$  происходит в SIM-карте.

Кратко опишем процесс аутентификации. У каждого подвижного абонента есть SIM-карта. В ней содержится:

- IMSI — идентификационный номер абонента;
- 128-битный ключ аутентификации  $K_i$ ;
- алгоритм аутентификации A3;
- алгоритм генерации сеансового ключа A8.

Ключ аутентификации пользователя  $K_i$  является уникальными и однозначно связан с IMSI, сотовый оператор по значению IMSI вычисляет  $K_i$  и определяет ожидаемый результат. SIM-карта защищена специальным PIN-кодом (PIN — Personal Identification Number), который присваивается пользователю вместе с самой картой. Сеть генерирует случайный номер (RAND) и пересылает его на мобильное устройство. В SIM-карте происходит вычисление значения отклика (SRES — Signed Response) и сеансового ключа, используя RAND,  $K_i$  и алгоритмы A3, A8. Мобильное устройство вычисляет SRES и посылает его в сеть, которая сверяет его с тем, что вычислила сама. Если оба значения совпадают, то аутентификация пройдена успешно и мобильное устройство получает от сети команду войти в шифрованный режим работы. Из-за секретности все вычисления происходят внутри SIM. Секретная информация (такая как  $K_i$ ) не поступает вне SIM-карты. Ключ  $K_c$  также не передается по радиоканалу. Подвижная станция и сеть вычисляют их отдельно друг от друга.

Сотовые сети, несмотря на обслуживающего оператора, для обеспечения совместимости и возможности предоставления дополнительных услуг, должны по возможности обладать унифицированными механизмами аутентификации и генерации ключа.

Рассмотрим шифр KASUMI, рекомендованный для обеспечения конфиденциальности переговоров в сетях четвертого поколения.

KASUMI создан группой SAGE (Security Algorithms Group of Experts), которая является подразделением Европейского Института по Стандартизации в области Телекоммуникаций ETSI. Данный шифр был создан на основе существовавшего ранее алгоритма MISTY1, который путем доработки был оптимизирован для сотовых сетей.

Алгоритм шифрования KASUMI может использовать 64-битный размер блока и 128-битный ключ. Также используется в 8-раундовая схема Фейстеля. Каждый раунд содержит 128-битный ключ, состоящий из восьми 16-битных подключей, образованных из исходного ключа по фиксированной процедуре генерации подключей. [5]

В KASUMI есть разложение на набор функций ( $FL$ ,  $FO$ ,  $FI$ ), которые используются с соответствующими ключами ( $KL$ ,  $KO$ ,  $KI$ ). Блок данных на входе разделяется на две равные части

$$I = L_0 \parallel R_0. \quad (1)$$

Для каждого  $1 \leq i \leq 8$  вычислим

$$\begin{aligned} R_i &= L_{i-1} \\ L_i &= R_{i-1} \oplus f_i(L_{i-1}, RK_i) \end{aligned} \quad (2)$$

где  $f_i$  — раундовая функция,  $RK_i$  — раундовый 128-битный ключ

$$RK_i = KL_i \parallel KO_i \parallel KI_i. \quad (3)$$

На выходе получаем  $(L_8 \parallel R_8)$ .

Рассмотрим раундовые функции данного алгоритма. Для раундов с номерами 1, 3, 5, 7

$$f_i(I, RK_i) = FO(FL(I, KL_i), KO_i, KI_i).$$

Для раундов 2, 4, 6, 8

$$f_i(I, RK_i) = FL(FO(I, KO_i, KI_i), KL_i).$$

### Функция FL

На вход функции подается 32-битный блок данных  $I$  и 32-битный ключ  $KL_i$ , который состоит из двух 16-битных подключей

$$KL_i = KL_{i,1} \parallel KL_{i,2} \quad (4)$$

Входная строка  $I$  разделяется на две части по 16 бит:

$$I = L \parallel R.$$

Далее определяем

$$\begin{aligned} R' &= R \oplus ROL(L \cap KL_{i,1}) \\ L' &= L \oplus ROL(R' \vee KL_{i,2}) \end{aligned} \quad (5)$$

Где  $ROL(x)$  — циклический сдвиг влево на 1 бит. На выходе имеем  $(L' \parallel R')$ .

### Функция FO

На вход функции подается 32-битный блок данных и два ключа по 48 бит:  $KO_i, KI_i$ .

Выходная строка  $I$  разделяется на две части по 16 бит:  $I = L_0 \parallel R_0$ . Ключи по 48-бит подвергаются разделению на три части каждый:

$$\begin{aligned} KO_i &= KO_{i,1} \parallel KO_{i,2} \parallel KO_{i,3} \\ KI_i &= KI_{i,1} \parallel KI_{i,2} \parallel KI_{i,3} \end{aligned} \quad (6)$$

Для промежутка  $1 < j \leq 3$  вычисляются

$$R_j = FI(L_{j-1} \oplus KO_{i,j}, KI_{i,j}) \oplus R_{j-1}$$



$$L_j = R_{j-1}.$$

Результат определяется как  $(L_3 \parallel R_3)$ .

### Функция FI

На вход функции подается 16-битный блок данных  $I$  и 16-битный ключ  $K_{i,j}$ . Вход  $I$  разделяется на 9-битовую левую часть  $L_0$  и 7-битовую правую  $R_0$ :  $I = L_0 \parallel R_0$  на 7 бит в  $K_{i,j,1}$  и 9 бит в  $K_{i,j,2}$ :

$$KI_{i,j} = KI_{i,j,1} \parallel KI_{i,j,2}$$

Функция использует два S-блока для отображения входов и выходов.

Имеют место быть ещё две функции.  $ZE(x)$  — предназначена для преобразования  $x$  в 9-битное значение добавлением двух нулей в старшие биты.  $TR(x)$  — преобразует 9-битное значение вычеркиванием из него двух старших битов.

Реализация функции:

$$\begin{aligned} L_1 &= R_0 & R_1 &= S9[L_0] \oplus ZE(R_0) \\ L_2 &= R_1 \oplus KI_{i,j,2} & R_2 &= S9[L_1] \oplus ZE(R_1) \oplus KI_{i,j,1} \quad (7) \\ L_3 &= R_2 & R_3 &= S9[L_2] \oplus ZE(R_2) \\ L_4 &= S7[L_3] \oplus TR(R_3) & R_4 &= R_3 \end{aligned}$$

Результатом вычисления по функции, является выражение  $(L_4 \parallel R_4)$ .

### Литература

1. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. — М.: Техносфера, 2005.
2. Кааранен Х. Сети UMTS. — М.: Техносфера, 2007.
3. 3GPP 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and system Aspects; Security related network functions (Release 9) [Электронный ресурс]: ресурс содержит различные спецификации элементов 3GPP — Электрон. дан. — Режим доступа: [http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/43\\_series/43.020/43020-900.zip](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/43_series/43.020/43020-900.zip), свободный. — 3rd Generation Partnership Project (3GPP). — Яз. англ.
4. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си = Applied Cryptography. Protocols, Algorithms and Source Code in C. — М.: Триумф, 2002.
5. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Specification of the 3GPP confidentiality and integrity algorithms; Document 2: Kasumi specification [Электронный ресурс]: ресурс содержит спецификацию алгоритма шифрования KASUMI — Электрон. дан. — Режим доступа: [http://www.etsi.org/website/document/algorithms/ts\\_135202v070000p.pdf](http://www.etsi.org/website/document/algorithms/ts_135202v070000p.pdf), свободный. — European Telecommunications Standards Institute (ETSI). — Яз. англ.

Затем с применением S-блоков осуществляется преобразование 7-битных и 9-битных входных блоков к 7 и 9-битным выходным блокам, используя таблицы подстановок.

Получение раундовых ключей  $K$  в KASUMI выглядит следующим образом:

128-битный ключ  $K$  делится на 8, получаем  $K = K_1 \parallel K_2 \parallel K_3 \parallel \dots \parallel K_8$ ;

Вычисляется второй массив  $K_j$ , получаем  $K_{j'} = K_j \oplus C_j$ , где  $C_j$  определяется из соотношения  $C1 = 0x0123$ ,  $C2 = 0x4567$ ,  $C3 = 0x89AB$ ,  $C4 = 0xCDEF$ ,  $C5 = 0xFEDC$ ,  $C6 = 0xBA98$ ,  $C7 = 0x7654$ ,  $C8 = 0x3210$ ;

Затем ключи для каждого раунда вычисляются из соотношения циклического сдвига влево на определенное количество бит, а именно  $X \lll n$ .

В основном алгоритм шифрования KASUMI применяется в качестве основы для реализации шифрования в более сложных алгоритмах.

Алгоритмы шифрования, применяемые в сотовых сетях третьего и четвертого поколения, устанавливают адекватный уровень защиты данных, который обеспечивает безопасность. Большим плюсом является тот факт, что оператор, предоставляющий услуги связи, волен выбирать ядро безопасности под свои нужды. Для алгоритмов шифрования, применяемых в сетях третьего и четвертого поколения, был проведен гораздо более детальный анализ криптостойкости. В результате были получены результаты, которые отвечают современным требованиям безопасности.

## Методика проектирования помехоустойчивых высокоскоростных монтажных плат

Атопшев Ю.С., инженер; Ушкар М.Н., доктор технических наук  
Московский авиационный институт  
ОАО «ГСКБ концерна ПВО «Алмаз-Антей» имени академика А.А. Расплетина»

### Введение

В данной статье будет описана методика проектирования помехоустойчивых высокоскоростных монтажных плат, которая применялась при проектировании платы субблока цифрового фильтра. Под высокоскоростными монтажными платами подразумеваются монтажные платы, работающие в диапазоне сверхвысоких частот (свыше 300 МГц). Проблема обеспечения помехоустойчивости конструкций современных электронных средств обусловлена следующими основными особенностями:

1) рост степени интеграции компонентов, обусловленной применением технологии поверхностного монтажа, новых конструкций корпусов интегральных микросхем, увеличением числа выводов на один корпус, миниатюризация компонентов. Согласно прогнозу на 2010 год, число выводов компонентов возросло до 1200, шаг выводов 0.5–0.1 мм. Переход к топологическим нормам 6, 7 классов точности в соответствии с ГОСТ Р 53429–2009. Данные особенности приводят к снижению расстояний между проводниками, что приводит к увеличению значений погонных емкости и индуктивности взаимодействия, а, следовательно, к увеличению наведенных помех в соседних проводниках;

2) повышение быстродействия сигнальных цепей современных ФЯ и включение в их число сигнальных цепей, отличающиеся большим разбросом быстродействия: от 1 МГц до сотен и даже 1000 МГц. Например, в разработанном устройстве имеются цепи, передающие сигнал с частотой 48 МГц и с частотой 576 МГц. Повышение быстродействия приводит к уменьшению длительности фронта сигнала, что, в свою очередь, ведет к проблемам обеспечения целостности сигнала при его передаче. Большой разброс по быстродействию сигнальных цепей ведет к необходимости классификации линий связи, оценке их помехоустойчивости.

Из этих особенностей следует, что на ранних этапах проектирования, как для трассировки, так и для моделирования, необходимо выделить линии передачи с общими правилами трассировки. Для этого необходимо создать процедуру предтопологического анализа. Более того, необходима процедура посттопологического анализа, то есть механизм проверки топологии для идентификации и исправления ошибок топологии печатной платы.

Понятие помехоустойчивости является комплексным, оно включает защиту от внешних наводок и от внутренних. В статье рассматривается внутренняя помехоустойчивость. Была рассмотрена помехоустойчивость

электрически коротких линий связи по модели активная-пассивная линия, либо активная-пассивная-активная, минимизация помех отражений для дифференциальных линий передачи и для электрически длинных линий передачи. Было рассмотрено устранение помех по цепям питания.

Решение этих задач объединено в единую методику, которая включает в себя алгоритмы предтопологического и посттопологического анализа. Методика ориентирована на пакет Altium Designer, то есть на принудительное ограничение длины проводников и участка взаимодействия двух и более проводников и на пакет HyperLynx для проверки полученной топологии. В пакете TXLine ведется расчет дифференциальных линий передачи. Необходимость использования различных программных продуктов обусловлена преимуществами каждого из них в какой-либо области проектирования.

На основе разработанной методики была спроектирована и проверена монтажная плата субблока ЦФ. Субблок ЦФ и его монтажную плату можно отнести к высокоскоростной аппаратуре, так как в число его цепей входят цепи, передающие сигнал с частотой выше 300 МГц.

### Методика проектирования

Задачей предтопологического анализа помехоустойчивости ФЯ ЦФ и выбора компоновки элементов является формирование критериев и правил для интерактивной трассировки печатной платы (ПП), устойчивой к воздействию внешних и внутренних помех (электромагнитных и электрических полей).

Исходными данными для предтопологического анализа является: схема электрическая принципиальная, параметры элементов (например, число выводов, шаг выводов), характеристики всего устройства (например, напряжения питания), значения помехоустойчивости микросхем. Исходя из ожидаемой площади платы и ожидаемого объема изделия и других особенностей конструкции, определяется ожидаемый размер ПП. Затем, исходя из предполагаемого числа связей на печатной плате и параметров корпусов микросхем, определяется шаг между проводниками и класс точности платы. Исходя из параметров устройства, а именно, напряжений питания, определяем число слоев разрабатываемой многослойной печатной платы (МПП).

Проанализировав схему электрическую принципиальную, сортируем все цепи так, чтобы частота передаваемого сигнала между группами отличалась примерно в

10 раз. После этого определяется среднестатистическая длина связи  $l$ , на основании которой будем относить линию передачи к электрически длинным или электрически коротким. Для электрически короткой линии передачи не требуется дополнительного согласования линии с нагрузкой и источником сигнала, напряжение во всех точках по длине линии в определенный момент времени имеют соответствующие одинаковые значения. Короткие линии моделируются сосредоточенными идеальными элементами, и их типовые модели представляют собой электрическую емкость или индуктивность (емкость взаимодействия  $C$  и взаимдукция  $M$ ). Для электрически коротких линий передачи требуется определить уровень перекрестных помех. Расчетные формулы приведены в [1, 2]. Для электрически длинных линий связи так же необходимо оценить уровень перекрестных помех в начале и в конце линии, и, исходя из уровня помех и значений коэффициентов перекрестных помех в начале и в конце линии, фронта импульса, выбрать необходимое расстояние между проводниками и длину допустимого участка взаимодействия. Расчетные формулы приведены в [3]. Для данных линий передач характерно то, что необходимо найти не только значения погонных емкости и индуктивности линии связи двух проводников, но и собственные емкость и индуктивность каждого проводника. В дальнейшем необходимо выбрать вариант согласования линии передачи с источником сигнала и с нагрузкой (в начале и в конце линии).

Устранение помех в системе питания и заземления (скачки тока потребления) реализуется путем снижения сопротивления, а именно индуктивности шины питания. Особое внимание следует уделить установке на плате развязывающих конденсаторов по питанию ИС. Они защищают микросхемы от скачков тока потребления. Отсюда следует несколько правил размещения и компоновки развязывающих конденсаторов на МПП:

1) размещать развязывающие конденсаторы так близко, насколько возможно к выводам питания и заземления микросхем;

2) между металлизированным отверстием и контактной площадкой конденсатора должны применяться широкие, короткие проводники;

3) металлизированное отверстие должно быть рядом с контактной площадкой, или непосредственно в контактной площадке (микрпереход);

4) если металлизированные переходные отверстия развязывающих конденсаторов несут противоположные по направлению токи, то эти отверстия следует располагать на минимально возможном расстоянии друг от друга (желательно не более  $l$  мм).

Снизить индуктивность системы питания и заземления можно путем правильного формирования структуры МПП. Слои питания и возвратные слои (слои земли) необходимо размещать как можно ближе друг к другу для того, чтобы емкость образованного при этом планарного конденсатора была больше (что, в свою очередь, ведет к уменьшению индуктивности системы питания и зазем-

ления). Формирование структуры МПП в дальнейшем упростит задачу оценки ее помехоустойчивости.

Проводники системы питания и заземления должны быть максимально широкими и короткими. Ширину проводников будем определять, исходя из значений силы тока, протекающего по проводнику и допустимого падения напряжения на шине питания.

Перейдем к анализу линий передачи информационных сигналов. Выбрав любую из сформированных групп, определяем критическую длину линии связи  $l_{кр}$ . Если отношение  $\frac{l}{l_{кр}} \leq 0.5$ , то данную линию передачи можно отнести к электрически коротким. Если отношение  $\frac{l}{l_{кр}} > 0.5$ , но  $\frac{l}{l_{кр}} < 0.9$ , то данная линия передачи не является

ни электрически короткой, ни электрически длинной. В данной методике для таких линий передачи можно увеличить минимальный фронт сигнала за счет введения в схему дополнительных элементов (резисторов или конденсаторов) в случае, если значение перекрестной помехи не удовлетворяет условию. Важно помнить, что увеличение фронта необходимо согласовывать с разработчиком, так

как от этого ухудшается быстродействие схемы. Если  $\frac{l}{l_{кр}} > 0.9$ , то линия передачи является электрически длинной. Для электрически длинных линий передачи необходимо задать волновое сопротивление и определить запас внутренней помехоустойчивости линии передачи. Далее выбором параметров линии передачи требуется обеспечить равенство заданного и расчетного волновых сопротивлений. В случае их равенства переходим к анализу уровня перекрестных помех от соседних проводников и выбору варианта согласования линии передачи с источником сигнала и нагрузкой.

Для дифференциальных линий передачи характерно, что по ним передаются высокочастотные сигналы, поэтому их можно отнести к электрически длинным линиям связи. Далее необходимо задать дифференциальное волновое сопротивление и определить запас внутренней помехоустойчивости линии передачи. Перед проектированием необходимо определить вариант исполнения дифференциальной линии передачи, например, в виде полосковой или микрополосковой линии. Преимущество полосковой линии заключается в том, что скорости мод одинаковы и помехи на дальнем конце пассивной линии отсутствуют (в отличие от микрополосковой линии), но при использовании поверхностного монтажа необходимы переходные отверстия, влияние которых на передачу дифференциальных сигналов требуется оценивать в специальных программных средствах. Здесь необходимо оценить все преимущества и недостатки того или иного варианта и выбрать наиболее подходящий для разрабатываемой конструкции. Затем нужно задать параметры дифференциальной линии передачи (расстояние между проводниками, ширина проводников, расстояние от про-

водников до экранного слоя), и для заданных параметров рассчитать дифференциальное волновое сопротивление. В случае равенства значения рассчитанного волнового сопротивления и заданного волнового сопротивления необходимо перейти к расчету уровня внутренних помех и длины линии передачи. Для исключения расфазировки при передаче дифференциального сигнала необходимо рассчитать допустимую разность между длинами проводников в линии связи. Заключительным этапом будет выбор способа согласования проектируемой линии передачи с нагрузкой и источником сигнала. В ряде случаев, если наблюдается различие в конструкции одной из линий дифференциальной пары, возможно появление переменной составляющей в сигнале общего вида. В этом случае необходимо согласовывать дифференциальный сигнал и сигнал общего вида, например, П-образной или Т-образной схемой включения.

Результатом предтопологического анализа ФЯ ЦФ является набор параметров различных линий связи, которые обеспечивают на данном этапе помехоустойчивость изделия в целом, минимальные значения перекрестных помех, хорошую трассируемость всей схемы. Данные параметры позволяют правильно провести компоновку элементов на ПП.

В случае если какой-то из параметров линий связи невозможно обеспечить при трассировке (например, длину участка взаимодействия соседних проводников), необходимо изменить параметры монтажной платы (например, увеличить число сигнальных слоев) и, в соответствии с выбранными параметрами, осуществить пересчет волновых сопротивлений линий передач.

Задачей посттопологического анализа является проверка выполнения заданных правил проектирования ПП и параметров печатных проводников. Исходными данными для данного анализа является готовая топология и параметры линий передачи, рассчитанных ранее. Так как Altium Designer не позволяет проводить интерактивный контроль длин линий передач, то необходимо вывести отчет о длинах всех проводников и сравнить с рассчитанными ранее. Для линий передачи дифференциального сигнала необходимо, помимо контроля длин, контролировать разность между длинами проводников в паре для исключения расфазировки. В случае превышения допустимой длины каким-либо проводником необходимо провести коррекцию топологии схемы. Методами устранения ошибок являются:

- 1) частичная перекомпоновка элементов схемы (можно снизить длину участка взаимодействия и длину проводника);
- 2) перетрассировка проводника (следует расположить его дальше от проводника-агрессора);
- 3) в случае нехватки места для перетрассировки проводника возможно перенесение его на другой сигнальный слой.

После трассировки и ручной проверки топологии необходимо экспортировать топологию в HyperLynx. В нем,

для оценки перекрестных помех и критической длины связи, необходимо провести автоматическую процедуру быстрого анализа. В основу быстрого анализа заложен экспертный алгоритм. Экспертный алгоритм, идентифицирующий связанные наводкой цепи, делает предположения о худшем случае, чтобы не было пропущены цепи связанные наводкой. Это означает, что используются Стандартная Модель ИС, если в цепи нет модели передатчика. Также, алгоритм предполагает, что все цепи не согласованы. Сумма интенсивности двух самых сильных агрессоров также отображается в файле отчета, поскольку это наиболее типично. Для генерирования Crosstalk Strengths Report, экспертный алгоритм использует скорость фронта передатчика и информацию взаимовлияний передающей линии. В стандартную модель ИС должен быть установлен самый быстрый фронт линии передачи с соответствующим сопротивлением и емкостью, а также допустимое значение амплитуды перекрестной помехи (например, для рассматриваемой платы  $NM_{\min}=0.4$  В). Устанавливать необходимо те значения, которые были определены ранее, на этапе предтопологического анализа, и которые представляют собой наихудший случай. В окне HyperLynx можно посмотреть участок, содержащий проблемные цепи. На рисунке 1 представлена ситуация, когда на цепь-жертву наводятся помехи от проводников, расположенных по обе стороны от рассматриваемой цепи (возможны случаи наводки помех от 3 и более проводников).

Далее необходимо в Altium Designer скорректировать топологию вышеперечисленными методами и снова ее экспортировать в HyperLynx, и проверить. Если параметры и размеры платы не позволяют разнести цепи-агрессоры и цепи-жертвы, следует провести более детальный анализ (подключить `ibs.`, `.mod`, `.pml` модели для каждой микросхемы) и провести анализ передачи сигнала во встроенном осциллографе.

В таблице 1 представлены результаты быстрого анализа топологии монтажной платы, разработанной в Altium Designer и монтажной платы аналогичного устройства, разработанного в PCAD без использования рассмотренной методики.

Таким образом, видно, что проектирование монтажной платы по данной методике дает высокие результаты в области помехоустойчивости (например, из 282 сигнальных цепей рассматриваемой платы требованиям помехоустойчивости, при стандартных параметрах линий передач, не удовлетворяют только 3). На рисунке 2 представлена осциллограмма для линии передачи, представленной на рисунке 1. В ней отражена ситуация, когда цепь-жертва (средний проводник) находится в статическом состоянии (по ней не передается сигнал), а по двум соседним цепям-агрессорам передается сигнал с частотой 48 МГц.

Из рисунка 2 следует, что амплитуда перекрестной помехи  $A=762$  мВ, что превышает уровень предельно допустимой помехи  $NM_{\min}=400$  мВ. Но данная амплитуда перекрестной помехи не приводит к переключению микросхемы в состояние логической "1" (для ТТЛ-логики

Таблица 1. Результат анализа топологии в HyperLynx

	Топология в PCAD	Топология в Altium Designer
Количество цепей, уровень помехоустойчивости которых выше $V=400\text{mV}$ при $\tau_{\Phi}=6.3\text{ нс}$	11	3
Количество цепей, уровень помехоустойчивости которых выше $V=300\text{mV}$ при $\tau_{\Phi}=6\text{ нс}$	16	5
Количество цепей, уровень помехоустойчивости которых выше $V=300\text{mV}$ при $\tau_{\Phi}=3\text{ нс}$	20	7
Диф. сопротивление диф. пар, Ом	102.9	129.8

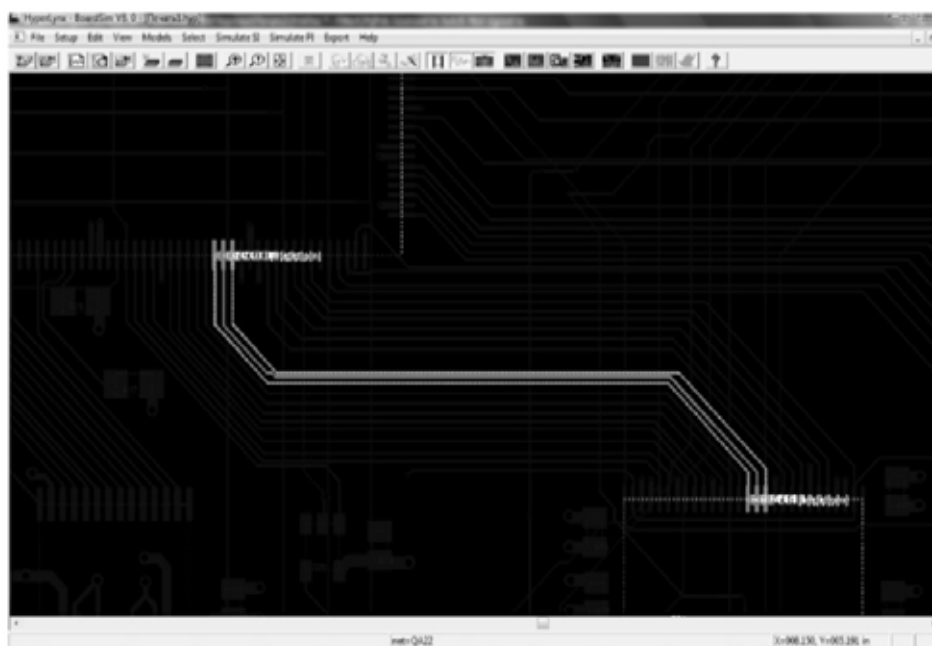


Рис. 1. Часть топологии многослойной печатной платы

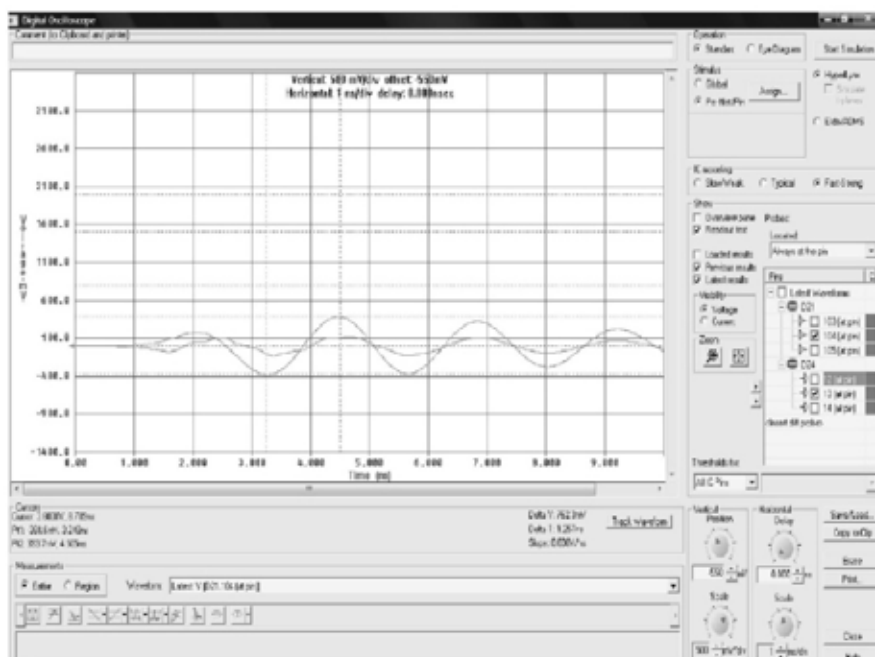


Рис. 2. Цепь-жертва в статическом состоянии



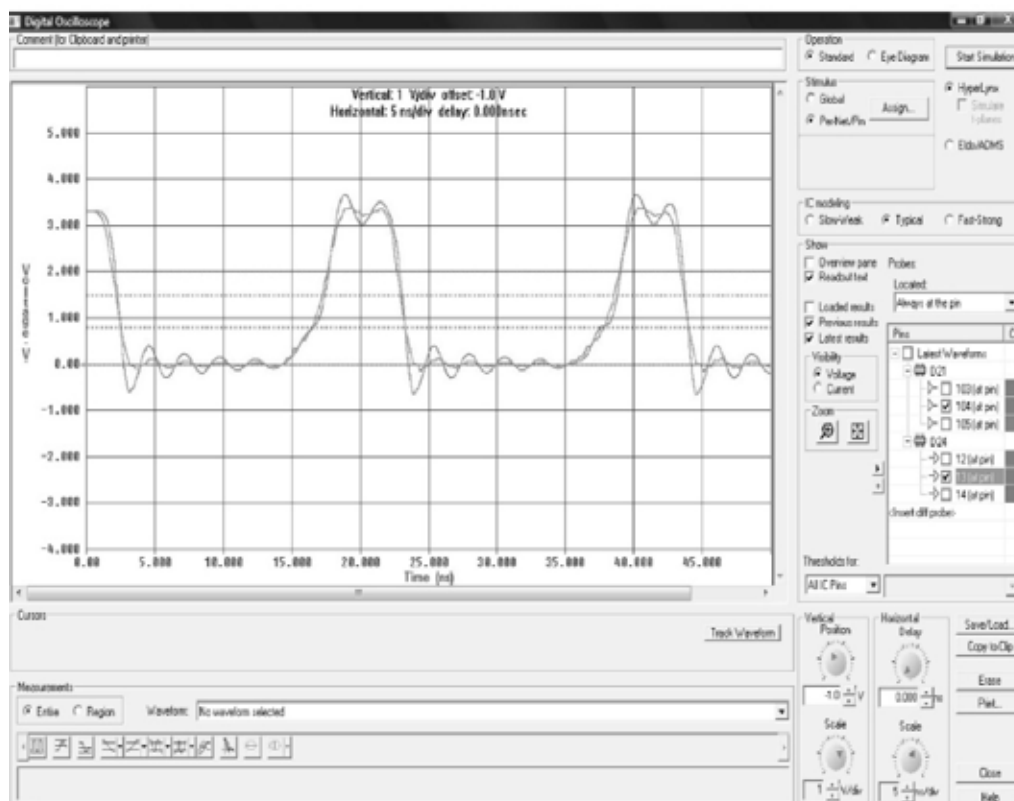


Рис. 3. Воздействие перекрестных помех на передаваемый сигнал по цепи-жертве

данный порог составляет 2 В). То же самое наблюдается в случае передачи сигнала по цепи-жертве. Данная ситуация представлена на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что при передаче уровня напряжения логической «1» по цепи-жертве, сигнал не опускается до порога уровня логического «0» (0.8 В), что значит, что сообщение будет принято верно. То же самое наблюдается при передаче логического «0»: выброс сигнала не достигнет порога уровня логической «1».

Так были проанализированы оставшиеся 2 цепи, амплитуда перекрестной помехи для которых превысила пре-

дельно допустимой. В ходе проверки не было выявлено ситуаций, когда передаваемый сигнал был принят неправильно. Отсюда следует, что рассматриваемая монтажная плата будет являться помехоустойчивой.

Преимуществом представленной методики является то, что она позволяет разработать плату с любым значением помехоустойчивости. В процессе верификации топологии, в процедуре быстрого анализа, так же можно снижать допустимое значение амплитуды перекрестной помехи, тем самым доводить проектируемую плату до необходимого уровня качества.

### Литература

1. Ушкар М.Н. Конструирование электронно-вычислительных средств: Учебное пособие к практическим занятиям. — М.: Изд-во МАИ, 2007. — 60 с: ил.
2. Барнс Дж. Электронное конструирование: методы борьбы с помехами. — М.: Мир, 1990.
3. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры — М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. — 616с.: ил. — (библиотека ЭМС).

## Обоснование методики учета температуры при исследованиях и расчетах напряженно-деформированного состояния стержневых элементов проектируемых машин

Макатова В.Е., кандидат технических наук, доцент; Ахметов С.М., доктор технических наук, профессор;

Тулеуова Р.О., кандидат технических наук, ст.преподаватель

Атырауский государственный университет им. Х.Досмухамедова (Казахстан)

При проектировании машин, в частности, при исследованиях и расчетах напряженно-деформированного состояния их составных деталей часто сталкиваемся с задачей учета влияния на общую нагрузку температуры. Такие задачи возникают при проектировании машин, применяемых в металлургической, химической, нефтехимической, пищевой, мясо-молочной и во многих других видах промышленности, где рабочие органы, помимо механической нагрузки, испытывают и температурные напряжения, которые неизбежны в силу принципа и (или) назначения работы этих машин. Например, в нефтегазовой и нефтехимической промышленности: трубчатые элементы машин и аппаратов, через которые протекают жидкости высокой температуры; бурильные трубы нагревающиеся в процессе углубления скважин; насосно-компрессорные трубы, нагревающиеся в силу работы трения насосов. В общем машиностроении, в качестве примера можно привести несущие валы паровых турбин, лопасти, коленчатые валы и системы охлаждения двигателей внутреннего сгорания, рабочие органы тормозных систем (ленты, колодки, диски, шкивы, барабаны) и т.п.

В этой статье приведена методика исследования частично теплоизолированных стержневых элементов, которые в практике являются основными составляющими элементами многих машин и работают под воздействием осевых сил, переменной по координате температуры, теплового потока и теплообмена. При таких сложных воздействиях исследования термоупругого напряженно-деформируемого состояния частично теплоизолированных стержней становится весьма сложной задачей.

Возникающие при таких ситуациях поля температур, перемещения, деформаций и напряжения, как правило, будут распределены по длине стержня нелинейным образом. В связи с этим, для исследования и дальнейших расчетов поле распределения физических величин в малой части длины стержня следует принять в виде кривой второго порядка.

Рассмотрим поле распределения температуры в интервале  $0 \leq x \leq \ell$ , где  $\ell \ll L$  — конечная длина рассматриваемого частично теплоизолированного стержня;  $\ell$  — длина части стержня,  $\ell \leq (0,1 \text{ см})$ . Предположим, что поперечное сечение постоянно по длине стержня, тогда в интервале  $0 \leq x \leq \ell$ , поле распределения температуры  $T = T(x)$  представим в виде кривой второго порядка [1, с. 77]

$$T(x) = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 x^2, \quad \text{при } 0 \leq x \leq \ell, \quad (1)$$

где  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  — некоторые константы, значения которых пока неизвестны. Для нахождения значения этих констант, рассматриваемую часть стержня делим пополам. И в этой части фиксируем три узла  $(i, j, k)$  (рис. 1). Глобальные координаты этих узлов соответственно равны  $x_i, x_j, x_k$ , при этом  $x_j = \frac{x_i + x_k}{2}$ .

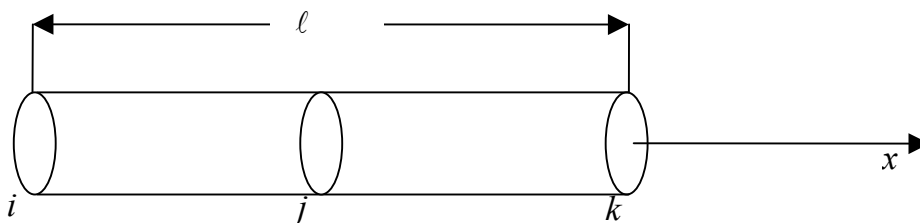


Рис. 1. Одномерный квадратичный конечный элемент

В местной системе координат координаты трёх узлов определяются следующим образом:  $x_i = 0$ ;  $x_j = \frac{\ell}{2}$ ;  $x_k = \ell$ . Введём следующее обозначение, характеризующее значение температуры в узлах  $i, j, k$ .

$$T_i = T(x = x_i); \quad T_j = T(x = x_j); \quad T_k = T(x = x_k). \quad (2)$$

Решая (1) и (2) совместно получим систему уравнений для определения значения констант  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 + \beta_2 x_i + \beta_3 x_i^2 &= T_i; \\ \beta_1 + \beta_2 x_j + \beta_3 x_j^2 &= T_j; \\ \beta_1 + \beta_2 x_k + \beta_3 x_k^2 &= T_k; \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

учитывая, что  $x_i = 0$ ,  $x_j = \frac{\ell}{2}$ ,  $x_k = \ell$  из последней системы имеем

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= T_i; \\ \beta_1 + \frac{\ell}{2} \beta_2 + \frac{\ell^2}{4} \beta_3 &= T_j; \\ \beta_1 + \ell \beta_2 + \ell^2 \beta_3 &= T_k. \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Учитывая, что  $\beta_1 = T_i$ , из последних двух уравнений системы (4) получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{\ell}{2} \beta_2 + \frac{\ell^2}{4} \beta_3 &= T_j - T_i; \\ \ell \beta_2 + \ell^2 \beta_3 &= T_k - T_i. \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Отсюда определим:

$$\left. \begin{aligned} \beta_3 &= \frac{2(T_k - 2T_j + T_i)}{\ell^2}; \\ \beta_2 &= \frac{4T_j - T_k - 3T_i}{\ell}; \\ \beta_1 &= T_i. \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Подставляя найденные значения  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  в выражение (1) имеем

$$T(x) = T_i + \frac{(4T_j - T_k - 3T_i)}{\ell} x + \frac{(2T_k - 4T_j + 2T_i)}{\ell^2} x^2 = \frac{\ell^2 - 3\ell x + 2x^2}{\ell^2} T_i + \frac{4\ell x - 4x^2}{\ell^2} T_j + \frac{2x^2 - \ell x}{\ell^2} T_k \quad (7)$$

Введём следующее обозначение

$$\left. \begin{aligned} N_i(x) &= \frac{\ell^2 - 3\ell x + 2x^2}{\ell^2}; \\ N_j(x) &= \frac{4\ell x - 4x^2}{\ell^2}; \\ N_k(x) &= \frac{2x^2 - \ell x}{\ell^2}. \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Тогда с учётом (8) перепишем (7) в следующем виде

$$T(x) = N_i(x)T_i + N_j(x)T_j + N_k(x)T_k, \quad (9)$$

при  $0 \leq x \leq \ell$ . Функции  $N_i(x)$ ,  $N_j(x)$ ,  $N_k(x)$  называются функциями формы [2, с. 136-141] для одномерного квадратичного конечного элемента с тремя узлами. Следует отметить, что эти функции формы имеют определённые свойства. Теперь рассмотрим свойства этих функций формы в следующих функциях:

$$\left. \begin{aligned} N_i(x) \Big|_{x=x_i} &= N_i(x=x_i=0)=1; \\ N_j(x) \Big|_{x=x_j} &= N_j(x=x_i=0)=0; \\ N_k(x) \Big|_{x=x_k} &= N_k(x=x_i=0)=0. \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} N_i(x) \Big|_{x=x_j} &= N_i(x=x_j=\frac{\ell}{2})=0; \\ N_j(x) \Big|_{x=x_j} &= N_j(x=x_j=\frac{\ell}{2})=1; \\ N_k(x) \Big|_{x=x_j} &= N_k(x=x_j=\frac{\ell}{2})=0. \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} N_i(x) \Big|_{x=x_k} &= N_i(x=\ell)=0; \\ N_j(x) \Big|_{x=x_k} &= N_j(x=\ell)=0; \\ N_k(x) \Big|_{x=x_k} &= N_k(x=\ell)=1. \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

Кроме того, для любой точки  $x = x_\phi$  в интервале  $0 \leq x \leq \ell$  имеет место

$$N_i(x_\phi) + N_j(x_\phi) + N_k(x_\phi) = 1. \quad (13)$$

Например, пусть  $x_\phi = \frac{\ell}{4}$ . Тогда получили бы следующий результат

$$N_i(x_\phi) + N_j(x_\phi) + N_k(x_\phi) = \frac{\ell^2 - 3\ell \frac{\ell}{4} + 2 \frac{\ell^2}{16}}{\ell^2} + \frac{4\ell \frac{\ell}{4} - 4 \frac{\ell^2}{16}}{\ell^2} + \frac{2 \frac{\ell^2}{16} - \ell \frac{\ell}{4}}{\ell^2} = \frac{3}{8} + \frac{3}{4} - \frac{1}{8} = \frac{3+6-1}{8} = 1$$

Также функции формы имеют следующие свойства. Для любой точки интервала  $0 \leq x \leq \ell$ , т.е. в пределах каждого конечного элемента имеет место

$$\frac{\partial N_i(x)}{\partial x} + \frac{\partial N_j(x)}{\partial x} + \frac{\partial N_k(x)}{\partial x} = 0. \quad (14)$$

Пользуясь соотношениями (8) докажем тождество

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial N_i(x)}{\partial x} &= \frac{1}{\ell^2}(-3\ell + 4x); \\ \frac{\partial N_j(x)}{\partial x} &= \frac{4}{\ell^2}(\ell - 2x); \\ \frac{\partial N_k(x)}{\partial x} &= \frac{1}{\ell^2}(4x - \ell). \end{aligned} \right\}. \quad (15)$$

Далее находим сумму

$$\frac{\partial N_i(x)}{\partial x} + \frac{\partial N_j(x)}{\partial x} + \frac{\partial N_k(x)}{\partial x} = \frac{1}{\ell^2}[-3\ell + 4x + 4\ell - 8x + 4x - \ell] = 0.$$

Теперь находим значения следующих интегралов, значения которых в последующем будут необходимы:

$$\begin{aligned} 1) \int_0^\ell N_i(x) dx &= \frac{1}{\ell^2} \int_0^\ell (\ell^2 - 3\ell x + 2x^2) dx = \frac{1}{\ell^2} \left[ \ell^2 x - \frac{3\ell x^2}{2} + \frac{2x^3}{3} \right]_0^\ell = \ell \left[ \frac{6-9+4}{6} \right] = \frac{\ell}{6}, \\ 2) \int_0^\ell N_j(x) dx &= \frac{2\ell}{3}; \quad 3) \int_0^\ell N_k(x) dx = \frac{\ell}{6}; \quad 4) \int_0^\ell N_i^2(x) dx = \frac{2\ell}{15}; \quad 5) \int_0^\ell N_i(x) N_j(x) dx = \frac{\ell}{15}; \end{aligned}$$

$$6) \int_0^{\ell} N_i(x) N_k(x) dx = -\frac{\ell}{30}; \quad 7) \int_0^{\ell} N_j(x) N_k(x) dx = \frac{\ell}{15}; \quad 8) \int_0^{\ell} N_j^2(x) dx = \frac{8\ell}{15}; \quad 9) \int_0^{\ell} N_k^2(x) dx = \frac{2\ell}{15}.$$

Кроме того, пользуясь соотношениями

$$\left(\frac{\partial N_i}{\partial x}\right)^2 = \frac{16x^2 - 24\ell x + 9\ell^2}{\ell^4}; \quad \left(\frac{\partial N_j}{\partial x}\right)^2 = \frac{16\ell^2 - 64\ell x + 64x^2}{\ell^4}; \quad \left(\frac{\partial N_k}{\partial x}\right)^2 = \frac{16x^2 - 8\ell x + \ell^2}{\ell^4},$$

найдем значения следующих интегралов

$$1) \int_0^{\ell} \left[\frac{\partial N_i(x)}{\partial x}\right]^2 dx = \frac{7}{3\ell}; \quad 2) \int_0^{\ell} \left[\frac{\partial N_j(x)}{\partial x}\right]^2 dx = \frac{16}{3\ell}; \quad 3) \int_0^{\ell} \left[\frac{\partial N_k(x)}{\partial x}\right]^2 dx = \frac{7}{3\ell};$$

$$4) \int_0^{\ell} \frac{\partial N_i(x)}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_j(x)}{\partial x} dx = -\frac{8}{3\ell}; \quad 5) \int_0^{\ell} \frac{\partial N_i(x)}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_k(x)}{\partial x} dx = \frac{1}{3\ell}; \quad 6) \int_0^{\ell} \frac{\partial N_j(x)}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_k(x)}{\partial x} dx = -\frac{8}{3\ell}.$$

Как известно значения температурных напряжений в некоторых случаях могут превышать предел прочности элементов конструкций. Поэтому для расчета температурных напряжений в элементах конструкций с начала следует определить закон распределения температуры в исследуемых элементах. Уравнение теплопроводности в сплошной среде имеет вид [3, с. 88]:

$$K_{xx} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + K_{yy} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + K_{zz} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q = 0, \quad (16)$$

где  $T(x, y, z)$  – температура, размерность которого  $^{\circ}\text{C}$ ;  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$  – коэффициент теплопроводности (материала тела) в направлениях  $x, y, z$ , размерности  $\text{Вт}/(\text{см} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $Q$  – источник тепла внутри тела, который считается положительным, если тепло подводится к телу, его размерность  $\text{Вт}/\text{см}^3$ . Для (16) имеют место следующие граничные условия: если в точках поверхности  $S_1$  известна температура, то на этой поверхности граничные условия будут

$$T = T_s(S_1) \text{ на } S_1, \quad (17)$$

где  $T_s$  – заданная температура на границе, которая может быть функцией координат точек поверхности  $S_1$ . Если через поверхность  $S_2$  проходит конвективный теплообмен, который характеризуется величиной  $h(T - T_{OC})$ , то для точек этой поверхности граничные условия имеют вид

$$K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \ell_x + K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} \ell_y + K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} \ell_z + h(T - T_{OC}) = 0 \text{ на } S_2, \quad (18)$$

где  $h$  – коэффициент теплообмена,  $(\text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}))$  и этот коэффициент может быть функцией координат точек поверхности  $S_2$ ;  $T(x, y, z)$  – температура в точках поверхности  $S_2$ , значение, которого неизвестно;  $T_{OC}$  – заданная температура окружающей поверхности  $S_2$  среды. Она тоже может быть функцией координат точек поверхности  $S_2$ ;  $\ell_x, \ell_y, \ell_z$  – направляющие косинусы поверхности  $S_2$ . Если на поверхность  $S_3$  тела подведен тепловой поток  $q$ ,  $(\text{Вт}/\text{см}^2)$ , то для точек этой поверхности имеет место

$$K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \ell_x + K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} \ell_y + K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} \ell_z + q = 0 \text{ на } S_3. \quad (19)$$

Заданный тепловой поток  $q$  может быть функцией координат точек поверхности  $S_3$ . Здесь следует отметить, что поток тепла  $q$  и конвективная потеря тепла  $h(T - T_{OC})$  не имеют места на одном и том же участке поверхности границы. Это означает, что если существуют потери тепла за счет конвекции, то существует отвод или приток тепла за счет теплового потока и обратно.

Таким образом, уравнение (16) с приведенными граничными условиями (17) и (18) имеет единственное решение. Это решение и есть закон распределения температур в теле. Но в вариационном исчислении устанавливается, что решение подобного рода задач сводится отысканию минимума функционала [3, с. 65]:



$$J = \int_V \frac{1}{2} \left[ K_{xx} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + K_{yy} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + K_{zz} \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 - 2Q \cdot T \right] dV + \int_{S_2} \frac{h}{2} (T - T_{OC})^2 dS + \int_{S_3} q T dS. \quad (20)$$

Уравнение (16) и граничные условия (17)...(19) могут быть применены к одномерным задачам после простого вычеркивания членов, связанных с ненужными координатами. Тогда уравнение для одномерной задачи записывается в виде

$$K_{xx} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q = 0, \quad (21)$$

с соответствующими граничными условиями

$$T = T_3 \quad \text{на } S_1, \quad (22)$$

$$K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \ell_x + h(T - T_{OC}) = 0 \quad \text{на } S_2, \quad (23)$$

$$K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \ell_x + q = 0 \quad \text{на } S_3. \quad (24)$$

Если конвективный теплообмен отсутствует и поток тепла равен нулю, то уравнения (23)...(24) сводятся к соотношению  $\frac{dT}{dn} = 0$ , которое выражает условие существования теплоизолированной границы. Здесь  $n$  - внешняя нормаль.

В вариационном исчислении также устанавливается, что для минимизации функционала

$$J = \int_V \frac{K_{xx}}{2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_2} \frac{h}{2} (T - T_{OC})^2 dS + \int_{S_3} q T dS, \quad (25)$$

необходимо, чтобы удовлетворялось дифференциальное уравнение (21) и граничные условия (22)...(24). Поэтому любое поле распределения температуры, при котором функционал (25), становится минимальным, также удовлетворяет дифференциальным уравнениям и, таким образом является решением поставленной задачи. Пользуясь этим утверждением, рассмотрим стержень ограниченной длины  $L(\text{см})$ , постоянный по длине площади поперечного сечения  $F(\text{см}^2)$ . Части ее боковой поверхности теплоизолированы. На площадь поперечного сечения левого конца подведен тепловой поток  $q_0, (Bm/\text{см}^2)$ , через площадь поперечного сечения правого конца стержня происходит теплообмен с окружающей эту площадь средой. При этом коэффициент теплообмена  $h_L, (Bm/(\text{см}^2 \cdot ^\circ C))$ , температура этой окружающей среды  $T_L, (^\circ C)$ . На части площади замкнутой боковой поверхности стержня  $S_1, S_2, \dots, S_r$  подведены тепловые потоки, с соответствующими интенсивностями  $q_1, q_2, \dots, q_r$ . Через части площади боковой поверхности стержня  $S_{r+1}, S_{r+2}, \dots, S_k$  происходит теплообмен с окружающими их средами. При этом значения соответствующий коэффициентов теплообмена примем  $h_{r+1}, h_{r+2}, \dots, h_k$ . Температуры сред, окружающих эти замкнутые поверхности обозначим  $T_{r+1}, T_{r+2}, \dots, T_k$  (рис. 2). Другие части боковой поверхности стержня теплоизолированы.

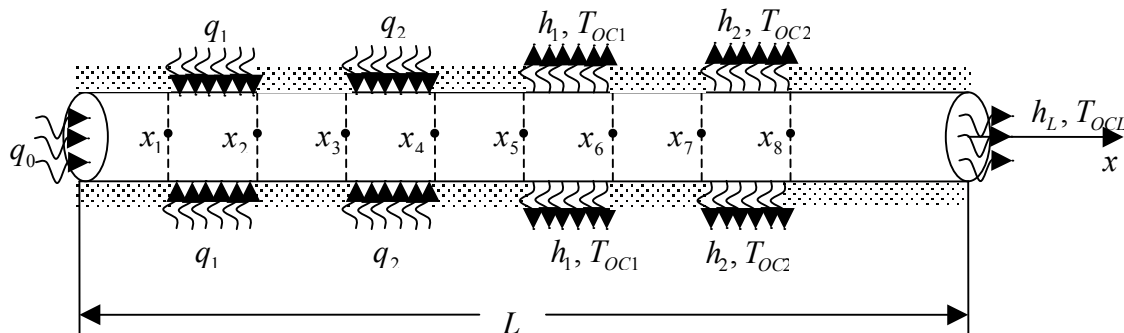


Рис. 2. Расчетная схема частично теплоизолированного стержня

Коэффициент теплового расширения и теплопроводности материала стержня обозначим соответственно через  $\alpha$  и  $K_{xx}$ , модуль упругости материала через  $E$ . Единицы измерения  $\alpha$ ,  $K_{xx}$  и  $E$  соответственно будут  $(1/^\circ\text{C})$ ,  $(\text{Вт}/(\text{см}\cdot^\circ\text{C}))$  и  $(\text{кг}/\text{см}^2)$ . Предположим, что подведенные на части боковой поверхности  $S_1, S_2, \dots, S_r$ , тепловые потоки с интенсивностями  $q_1, q_2, \dots, q_r$  являются заданными функциями координат  $x$ . Сначала рассмотрим первый участок стержня. Боковая поверхность этого участка теплоизолирована. Длина участка равна  $x_1 - x_0 = x_1 - 0 = x_1$  (см). На площадь левого конца этого участка подведен тепловой поток интенсивности  $q_0$ .

Этот участок делим на  $n_1$  равные элементы. Длина каждого элемента будет равна  $\ell_1 = \frac{x_1}{n_1}$  (см). Каждый элемент

рассмотрим как квадратичный конечный элемент с тремя узлами. Тогда в этом участке стержня число узлов конечных элементов будет равно  $2n_1 + 1$ . Здесь рассмотрим первый элемент. В этом элементе имеется три узла с номерами 1, 2, 3 (рис. 3).

При этом на площадь поперечного сечения, которое соответствует первому узлу, подведен тепловой поток с интенсивностью  $q_0$ . Поэтому для первого конечного элемента выражения функционала, которое характеризует полную тепловую энергию, имеет следующий вид

$$J_1 = \int_{V_1} \frac{K_{xx}}{2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_1^{(1)}} q_0(x) T dS, \quad (26)$$

здесь  $V_1$  — объем первого квадратичного конечного элемента;  $S_1^{(1)}$  — площадь поперечного сечения соответствующий первому узлу 1-го элемента. Так как боковая поверхность рассматриваемого участка теплоизолирована, то для всех остальных  $(n_1 - 1)$ -ых элементов выражения соответствующих функционалов имеют следующий вид

$$J_i = \int_{V^{(i)}} \frac{K_{xx}}{2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV; \quad (i = 2 \div n_1). \quad (27)$$

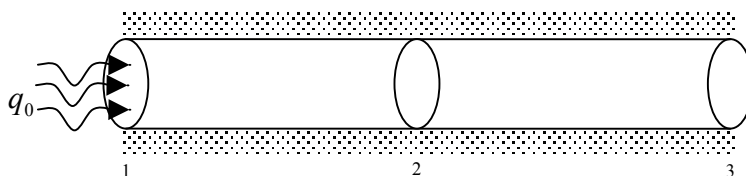


Рис. 3. Первый квадратичный конечный элемент с тремя узлами

Далее рассмотрим следующий ограниченный участок  $x_1 \leq x \leq x_2$  стержня. Длина этого участка  $x_2 - x_1$ . На боковую поверхность этого участка подведен тепловой поток интенсивностью  $q_1(x)$ , который зависит от координат. Этот участок делим на равные  $n_2$  элементов. Длина каждого элемента  $\ell_2 = ((x_2 - x_1)/n_2)$ , (см). для этих элементов выражение функционала, которое характеризует полную тепловую энергию, будет следующим

$$J_i = \int_{V^{(i)}} \frac{K_{xx}}{2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_{\text{бон}}^{(i)}} q_1(x) T(x) dS \quad (i = 1 \div n_2), \quad (28)$$

где  $V^{(i)}$  — объем элементов;  $S_{\text{бон}}^{(i)}$  — площадь боковой поверхности элементов.

Далее так как боковые поверхности участков  $x_2 \leq x \leq x_3$ ;  $x_4 \leq x \leq x_5$ ;  $x_6 \leq x \leq x_7$ ; стержня теплоизолированы, то каждые из участков делим на равные  $n$  элементы. Тогда для этих элементов выражения функционалов, которые характеризуют полную тепловую энергию, будет аналогичны (27). Так как на боковую поверхность участка стержня  $x_3 \leq x \leq x_4$  подведен тепловой поток с интенсивностью  $q_2(x)$ , то для элементов участка выражение функционала температурной энергии выглядит следующим образом

$$J_i = \int_{V^{(i)}} \frac{K_{xx}}{2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_{\text{бон}}^{(i)}} q_2(x) T(x) dS; \quad (i = 1 \div n_3), \quad (29)$$

где  $n_3$  — число конечных элементов в этом участке стержня.

На участках  $x_5 \leq x \leq x_6$  и  $x_7 \leq x \leq x_8$  по боковым поверхностям происходит теплообмен с окружающими их средами. При этом соответствующие коэффициенты теплообмена и температуры окружающих сред обозначены через  $h_1, h_2, T_{OC1}$  и  $T_{OC2}$ . Для элементов этого участка выражение функционалов температурных энергий будут следующими

$$J_i = \int_{V^{(i)}} \frac{K_{xx}}{2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_{\text{бон}}^{(i)}} \frac{h_1}{2} (T - T_{OC1})^2 dS; \quad (i = 1 \div n_4), \quad (30)$$

$$J_j = \int_{V^{(j)}} \frac{K_{xx}}{2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_{\text{бон}}^{(j)}} \frac{h_2}{2} (T - T_{OC2})^2 dS; \quad (j = 1 \div n_5), \quad (31)$$

где  $n_4$  и  $n_5$  — число элементов на двух участках соответственно.

Теперь рассмотрим последний участок стержня  $x_8 \leq x \leq x_L$ . Боковая поверхность этого участка теплоизолирована. Разделим участок на равные  $n_6$  элементов. Тогда число узлов на этом участке будет  $(2n_6 + 1)$ . Длина каждого элемента будет равна  $\ell_2 = ((x_L - x_8)/n_6), (см)$ . Для первых  $(n_6 - 1)$  элементов выражения функционалов найденных температурных энергий будут как (27). Потому что боковые поверхности этих элементов теплоизолированы. Но здесь  $i = 1 \div (n_6 - 1)$ . Для последнего  $n_6$ -го элемента этого участка, при написании выражения аналогичного функционала, должно быть учтено, что через площадь поперечного сечения правого конца этого элемента происходит теплообмен с окружающей средой. Здесь коэффициент теплообмена  $h_L$ , а температура окружающей среды  $T_{OCL}$ . Тогда для последнего  $n_6$ -го элемента стержня выражение аналогичного функционала будет иметь следующий вид

$$J_{n_6} = \int_{V^{(n_6)}} \frac{K_{xx}}{2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_{\text{ннс}}^{(n_6)}} \frac{h_L}{2} (T - T_{OCL})^2 dS. \quad (32)$$

Теперь, составляя сумму выражений функционала температурной энергии по всем элементам по длине стержня, находим выражение соответствующего функционала для рассматриваемого стержня в целом

$$J = \sum_{i=1}^{чкэ} J_i, \quad (33)$$

где индекс *чкэ* — общее число конечных элементов в рассматриваемом стержне.

Минимизируя последний суммарный функционал по узловым значениям температур получим для их определения следующую систему линейных алгебраических уравнений получим

$$\frac{\partial J}{\partial T_i} = 0; \quad i = 1 \div (2 \times чкэ + 1). \quad (34)$$

Таким образом, решением полученную систему известным методом Гаусса, можно определить численные значения температур в узлах конечных элементов, и далее, пользуясь соотношением (9) вычислить значение температуры в любой точке в соответствующих элементах стержня.

## Выводы

Исследованием основных соотношений квадратичного конечного элемента с тремя узлами, выявлением свойств построенных функций формы и их градиентов на основе энергетического принципа и квадратичного конечного элемента построены математическая модель и соответствующий алгоритм, описывающие силовые динамические процессы стержня с учетом заданных тепловых потоков, теплообменов и теплоизоляции. Построены разрешающие системы линейных алгебраических уравнений. Предложенную методику можно применить при проектировании машин, где рабочие органы, помимо механических нагрузок испытывают также и температурные напряжения, предусмотренные при их созданиях и (или) в процессе эксплуатации.

**Литература:**

1. Тулеуова Р.О., Макатова В.Е. Задачи теплопроводности в упруго-деформированных элементах // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Алматы, 2001. — 185 с.
2. Ахметов С.М., Махатова В.Е., Тулеуова Р.О., Боздаков А. Математическая модель и вычислительный алгоритм расчета термонапряженно-деформированного состояния стержня ограниченной длины при наличии теплового потока, теплообмена и осевой растягивающей силы / Сб. докл. межд. научно-практ. конференции «Атырауский государственный университет им. Х.Досмухамедова — служение образованию и науке региона больше полувека». В трех томах. Атырау, 2010. Том II. — 214 с.
3. Петров А.В. Задачи термодинамики в приложении техники: М.: Наука, 1985. — 286 с.

## **Получение высококачественного бетона с использованием модификаторов структуры на основе отходов промышленности**

Баженова С.И., кандидат технических наук, ассистент  
Московский государственный строительный университет  
Национальный исследовательский университет (г. Москва)

Технология изготовления высококачественных бетонов основывается на управлении структурообразованием бетона на всех этапах производства и эксплуатации.

Прочность и стойкость бетонов зависят, главным образом, от объема и строения макропор в бетоне. При рассмотрении макроструктуры выделяют: крупный и мелкий заполнители, цементный камень и контактную зону между цементным камнем и заполнителем.

Возникновение контактной зоны между цементным камнем и заполнителем связано с тем, что в бетонной смеси зерна заполнителя разделяют цементное тесто на микрообъемы. В связи с этим формирование структуры цементного камня и контактной зоны происходит в тонких слоях. Заполнитель оказывает существенное влияние на распределение воды в бетонной смеси и формы ее связи.

Под влиянием поверхности заполнителя и за счет адсорбционных, молекулярных и капиллярных сил эти слои теряют подвижность. Толщина зоны взаимодействия зависит от свойств заполнителя и цемента и в среднем составляет около 10–15 мкм. Сращивание зерна заполнителя с цементным камнем связано с миграцией гидроксида кальция, образующегося при гидролизе трех- и двухкальциевого силиката, к поверхности зерен. В результате на поверхности зерен заполнителя образуются кристаллы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . По своему составу и свойствам контактная зона отличается от остального цементного камня, а прочность контактного слоя в бетоне плотной структуры более чем в 5 раз ниже прочности цементного камня.

Решить данную проблему и повысить стойкость бетона можно путем введения комплексных добавок на поверхность заполнителя, которые, взаимодействуя с гидроксидом кальция, изменяли бы характер и объем пор и заполняли бы контактную зону новообразованиями.

Введение супер- и гиперпластификатора при низких значениях В/Ц способствует образованию тонкозерни-

того геля, который быстрее и полнее заполняет меньшую первоначальную пористость твердой фазы при наличии тонкодисперсных добавок. Уменьшение размеров кристаллов цементного камня и его пор ведет к повышению прочности и стойкости материала. Гидратация цемента в стесненном и тонкораздробленном пространстве твердой фазы при низких значениях В/Ц и использовании тонкодисперсных наполнителей позволяет получать очень прочные бетоны, стойкие к различным внешним воздействиям.

Для получения высококачественных бетонов на основе высокоподвижных бетонных смесей особое значение имеет использование модификаторов структуры бетонов на основе отходов промышленности. Но так как техногенные отходы отличаются высокой неоднородностью и низкой химической активностью, необходима их специальная подготовка.

Для решения поставленной задачи необходимо подвергнуть наполнитель механохимической активации, для того чтобы достигнуть полидисперсного увеличения удельной поверхности отходов, изменению структуры частиц на поверхности, образованию дополнительных дефектов в решетках минералов, которые ускоряют элементарные взаимодействия поверхностного слоя частиц, повышают их однородность и химическую активность.

В связи с этим для оптимизации состава и прогнозирования свойств высококачественных бетонов на основе высокоподвижных бетонных смесей необходимо установить зависимости свойств бетонных смесей и бетонов от параметров структуры, состава и технологических факторов.

Эмпирически с использованием математических методов планирования эксперимента были подобраны высокопрочные бетоны классом по прочности В40 и более, и подвергнуты ускоренным испытаниям на капиллярный

Таблица 1

## Свойства бетонов на необработанном заполнителе

Класс	Прочность бетона R, МПа	Общая пористость, По, %	Константа всасывания	«Приведенное удлинение» $\epsilon_{пр} 10^{-5}$ см
B40	51,4	13,4	9,92	10,2
B45	58,8	13,2	9,0	10,5
B50	64,3	12,8	8,41	10,4
B60	77,1	12,2	7,84	9,6

Таблица 2

## Свойства бетонов на обработанном заполнителе

Класс	Прочность бетонов R, МПа	Общая пористость По, %	Константа всасывания	«Приведенное удлинение» $\epsilon_{пр} 10^{-5}$ см
B40	66,8	13,4	8,4	8,1
B45	70,5	13,2	7,56	8,5
B50	77,8	12,8	6,75	8,3
B60	91,7	12,2	6,42	8,0

подсос с целью определения капиллярной пористости как функции морозостойкости и определению температурно-влажностных деформаций с целью установления зависимости морозостойкости от «приведенного удлинения» в процессе замораживания и оттаивания.

Бетонные смеси имели осадку конуса 27–28 см, при расплыве конуса 60–62 см, расход добавки «Полипласт СП СУБ» составил 1,2% от массы цемента при расходе воды 200–205 кг/м<sup>3</sup>.

Результаты исследований бетонов на необработанном заполнителе, общей представлены в табл.1.

Таким образом, из данных табл.1 можно сделать вывод о том, что испытанные бетоны, удовлетворяющие требованиям по прочности и удобоукладываемости, не соответствуют требованиям к высококачественным бетонам по морозостойкости, которая должна быть не менее 400 циклов, что соответствует «приведенному удлинению»  $\epsilon_{пр}$  не более  $8,5 \cdot 10^{-5}$  см.

Для повышения всех изучаемых показателей свойств исследуемых бетонов был применен метод предварительной обработки заполнителя комплексной добавкой в активаторе. В качестве такой добавки был использован порошкообразный микрокремнезем (МК) совместно с гиперпластификатором «Полипласт СП СУБ».

Далее были проведены исследования прочности, пористости, процесса капиллярного всасывания и дилатометрические исследования бетонов на обработанных заполнителях.

Исследования, представленные в табл.2 показали, что прочность исследуемых составов бетонов повысилась на 19–23%, снизился коэффициент К (величина водопоглощения) на 16–20% и снизилось «приведенное удлинение» бетонных образцов при замораживании и оттаивании на 17–20%.

Все это свидетельствует о создании более прочной и плотной структуры бетона.

## Система планирования распределения финансовых ресурсов в условиях оперативной обработки данных

Гайсин В.Ф., аспирант; Ровенская В.Р., аспирант  
Самарский государственный технический университет

*Рассматриваются основные недостатки классического бюджетного планирования на предприятии, а также сложности при составлении консолидированного бюджета по группе предприятий в целом. С учетом рассмотренных недостатков формируются требования к новой системе планирования, когда планирование ведется одновременно на всех уровнях. Такой подход позволит максимально избавиться от недостатков классической параллельной схемы.*

*На основании сформированных требований предлагается использование интеллектуальной системы поддержки принятия решений в бюджетировании группы предприятий. Что, позволяет наиболее эффективно решать предъявляемые системе задачи в условиях оперативной обработки данных, а также учитывать вероятностную составляющую бюджета.*

В настоящее время в области планирования финансовых потоков организаций сложилась определенная парадигма. Назовем ее последовательным планированием. Суть ее в том, что бюджеты составляются последовательно снизу вверх и сверху вниз. Т.е. пока не составлен бюджет предыдущего уровня, нельзя составить бюджет следующего. Для предприятия можно выделить как минимум два уровня планирования — бюджет проекта (или отдела) и бюджет предприятия. Возможно также составление бюджетов проектов и отделов одновременно. Это будут бюджеты одного уровня, но показывать планирование в разных разрезах. Для группы предприятий (ГП) добавляется еще один уровень планирования — управляющая компания (УК) [1, 2].

При всех неоспоримых преимуществах все существующие системы планирования имеют недостатки [2]. Их можно разделить на 2 группы:

1. относящиеся к отдельному предприятию;
2. относящиеся к ГП в целом.

К первой группе отнесем следующие:

1. Концепция бюджетирования состоит в том, что в бюджете (плане доходов и расходов) четко прописываются доходы, которых планируется достичь к определенным срокам, расходы, которые нужно удерживать в определенных пределах [1]. Это является чрезвычайно негибким и ограничивающим в действиях. Любой готовый бюджет может содержать неточности. В процессе работы над бюджетом изменяются обстоятельства. Поэтому необходимо, чтобы бюджет не был совершенно неподвижным, — должна оставаться возможность корректировать его как нужно и когда нужно. Однако такая корректировка не всегда возможна, либо может занять продолжительное время. Тут можно говорить о вероятности исполнения бюджета. Чем грамотнее он составлен, тем больше вероятность его исполнения, или тем меньше вероятность его корректировки, т.е. тем ближе бюджет к реалистичному.

2. Бюджетирование неизбежно влечет за собой массу бумажной работы в период, предшествующий составлению бюджетов, во время их составления и в последу-

ющий период, когда осуществляется текущий контроль за исполнением бюджетов, а также вероятны их изменения.

3. Даже когда бюджетирование хорошо отлажено и поэтому выполняется в соответствии с установленными процедурами, все равно оно остается процессом, требующим затрат времени.

К основным недостаткам второй группы отнесем следующие:

1. В системе планирования ГП объем бумажной работы будет еще больше из-за составления консолидированного бюджета после составления бюджетов предприятий. Кроме этого требуется дополнительное время для составления консолидированного бюджета.

2. Корректировка бюджета ГП, т.е. консолидированного бюджета нескольких предприятий представляется процедурой весьма громоздкой. Кроме того, корректировка бюджета любого из предприятий повлечет за собой корректировку консолидированного бюджета ГП.

Все эти недостатки обусловлены господствующей парадигмой. Однако, в последнее время предпринимаются попытки внедрения другой парадигмы бюджетирования — «параллельной». В этом случае планирование ведется одновременно на всех уровнях. Затем бюджеты всех уровней согласуются между собой. Такой подход позволит максимально избавиться от недостатков классической параллельной схемы.

Однако реализация такого планирования в существующих системах сильно затруднена, либо невозможна совсем. Необходима система бюджетирования, позволяющая составлять одновременно бюджеты всех уровней, согласовывать их между собой и при этом учитывать потребности и возможности каждого уровня. Также система должна учитывать вероятность исполнения бюджета, которая рассчитывается как некая функция от вероятности исполнения бюджетов нижних уровней. Предлагается составлять три варианта бюджета: оптимистичный, пессимистичный и реалистичный в зависимости от вероятности исполнения. В дополнение предлагается ввести понятие критических статей бюджета, т.е. 10 % статей, изменение



которых повлечет за собой максимальное изменение бюджета, вплоть до его неисполнения.

Основные проблемы реализации рассматриваемой парадигмы в огромном числе согласований, сложности описания структуры организации. В настоящий момент перспективные направления реформ управления современных предприятий связаны с целостным (холистическим) подходом и переходом от замкнутых функционально-ориентированных подразделений в рамках централизованных иерархических структур с жесткими связями — к открытым автономным сетевым организациям, формирующим децентрализованные сетевые структуры с гибкими связями, устанавливаемыми и пересматриваемыми по мере необходимости. При этом кардинальное изменение претерпевает характер взаимодействия между всеми подразделениями, предприятия или лицами, принимающими решения, и на смену централизованному и иерархическому управлению с выдачей команд «сверху-вниз» приходят переговоры, построенные на принципах взаимодействия равных партнеров, где при необходимости каждый может взаимодействовать с каждым и структура такого взаимодействия заранее не предписана и никак не ограничена [3].

В связи с изменениями структуры связей внутри группы предприятий для решения задачи планирования финансовых потоков в условиях оперативной обработки информации в процессах принятия решений предлагается применение мультиагентных технологий, получивших интенсивное развитие в последние 15 лет, на стыке методов искусственного интеллекта, объектно-ориентированного программирования, параллельных вычислений и телекоммуникаций. В основе этих технологий лежит понятие «агента», программного объекта, способного воспринимать ситуацию, принимать решения и взаимодействовать с себе подобными. Эти возможности отличают мультиагентные системы (МАС) от существующих жестко организованных систем, обеспечивая им такое принципиально важное свойство как способность к самоорганизации. При этом агенты могут действовать от имени и по поручению лиц, принимающих решения и на их основе вести переговоры, находить варианты решений и согласовывать их друг с другом [3]. В связи с тем, что рассматриваемая система финансовых потоков группы предприятий является открытой, то для реализации параллельной парадигмы бюджетирования предлагается использование интеллектуальных систем поддержки принятия решения (ИСППР), реализованных с использованием открытых мультиагентных систем (ОМАС).

В качестве основы для создания ОМАС оперативной обработки информации для реализации поддержки процессов принятия решений предлагается модель сети потребностей и возможностей. Эта модель основывается на холистическом подходе, в рамках которого предприятие или группа предприятий декомпозируется до уровня отдельных автономных физических сущностей (инвестиционный проект, финансовый поток, кредитная линия и т.д.), каждая из которых получает своих агентов. Эти агенты, функциони-

рующие как отдельные автономные компании на виртуальном рынке предприятия, способны взаимодействовать между собой, определяя нужные потребности и возможности, и устанавливая временные связи для обеспечения бронирования ресурсов под заказы. Две эти сущности (агенты возможностей и потребностей) ведут себя как две противоположности, временно связывающиеся в относительно устойчивые комбинации или распадающиеся на составные части, объединяющиеся с другими компонентами на более выгодных условиях. В такой открытой системе агенты должны быть постоянно готовы к установлению или расторжению связей и реагировать на любые изменения в среде, а текущая конфигурация сети, задаваемая набором связей между ними, отражает лишь временный баланс интересов участников этого взаимодействия.

Наиболее сложной из задач разработки ИСППР становится задача построения моделей переговоров между агентами, на основе которых строится согласованное принятие решений. Эти модели существенно развивают возможности взаимодействия агентов в МАС, однако они ориентированы на решение поставленных задач в условиях определенности, когда состав участников взаимодействия фиксирован и не требует пересмотра принятых ранее решений при появлении новых возможностей или потребностей, что является характерным для рассматриваемых открытых систем.

Поэтому предлагается разработать новые варианты взаимодействия агентов, позволяющие динамически создавать ПВ-сети и реконфигурировать их под действием изменений в среде. Главной особенностью этих методов является возможность построения состояний ПВ-сети как состояний временного равновесия, отражающего баланс интересов всех участников взаимодействия, и согласованного пересмотра принятых ранее решений по мере изменения состояний заказа или состояния наличия ресурсов в среде. В задачах относящихся к управлению проектами потеря одного из исполнителей не приведет к отказу от этого проекта, а лишь потребуются перераспределение задач между ресурсами исполнителей и т.д.

При этом в ряде случаев для принятия решений в рассматриваемых системах могут использоваться и классические методы в тех случаях, если ситуация является хорошо определенной, имеется адекватная математическая модель рассматриваемых процессов и у системы достаточно времени на получение строгого решения.

Таким образом, предлагается сочетание классического метода бюджетирования для элементов нижнего уровня (деятельность по исполнению крупного заказа, инвестированию проекта развития и т.д.) и ПВ-сети позволяющей эффективно распределять имеющиеся финансовые ресурсы между имеющимися потребностями в финансировании.

В результате, описанный подход открывает возможности для построения широкого класса качественно новых систем, обладающих способностью к самоорганизации, универсальностью для различных применений, техноло-

гичностью построения, оперативностью, гибкостью и эффективностью, повышенной живучестью, а также индивидуальным подходом к каждому пользователю. Такая ИСППР отвечает всем требованиям к системам поддержки принятия решения поставленным ранее.

Таким образом, использование ИСППР в бюджетировании ГП позволяет наиболее эффективно решать поставленную задачу в условиях оперативной обработки данных, а также учитывать вероятностную составляющую бюджета.

### Литература

1. Бланк И.А. Управление денежными потоками предприятия [текст]//К.: Ника-Центр, 2002.
2. Балашов В.Г., Ириков В.А. Технологии повышения финансового результата предприятий и корпораций. Практика и методы [текст]// М.: «Издательство ПРИОР», 2002.
3. Вейс А.А., Ангельцев А.А. Использование открытых мультиагентных систем в распределении финансовых потоков группы предприятий [текст]// Информационные технологии моделирования и управления: Научно-технический журнал. Воронежский гос. унив-т. 2006. Вып. 9 (34). Программные и телекоммуникационные системы. С. 1161–1165.

## Анализ причин обрушений промышленных зданий

Гарькин И.Н., студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*Рассматриваются актуальные вопросы о снижении опасности лавинообразного обрушения покрытия промышленного здания. Указываются причины возникновения аварийных ситуаций и меры по их предотвращению.*

**Ключевые слова:** обрушение покрытия, аварийные ситуации, лавинообразное обрушение, обследование промышленных зданий.

Увеличение доли промышленного производства в экономике РФ повлекло за собой введение в строй новых, а так же реконструкцию старых производственных площадей. Однако зачастую, как и новые, так и реконструированные промышленные здания в последнее время эксплуатируются с большой вероятностью обрушения (статистикой отмечается рост трагических аварий на территории Российской Федерации). Приведем несколько примеров крупных аварий, случившихся за последнее десятилетие [1]:

- обрушение двух ферм здания готовой продукции ПЦ №3 ОАО «МЕЧЕЛ», г.Челябинск ( 2000 г.);
- обрушение покрытия здания цеха литья Троицкого дизельного завода (2000г.)
- обрушение покрытия здания готовой продукции ОАО «Златоустовский металлургический завод» (2001 г.);
- обрушение покрытия здания адьюстажа термокалибровочного цеха ОАО «Златоустовский металлургический завод» (2001 г.);
- обрушение покрытия здания гуммировочного отделения Горно-обогажительного производства ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (2001 г.);
- аварийное обрушение вытяжной башни высотой 100 метров сероулавливающих установок Горно-обогажительного производства ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» ( 2002 г.) ;
- обрушение покрытия здания электросталеплавильного цеха ООО «ОМЗ-Спецсталь» (2003 г.);

— обрушение покрытия формовочного отделения ОАО «Чебоксарский агрегатный завод» (2003 г.) ;

— обрушение части покрытия здания мартиновского цеха №1 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»(2004 г.) ;

— обрушение покрытий цехов обжига на Магнитогорском и Коркинском цементных заводах (2006 г.);

— обрушение покрытия травильного отделения здания ЛПЦ-5 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (2006 г.);

— обрушение части покрытия здания склада готовой продукции Плавильного цеха комбината «Печенга Никель» (2007 г.)

Многолетняя повторяемость аварий с одинаковыми причинами указывает на то, что одной из актуальных проблем является изучение участниками строительства и эксплуатационными организациями причин, приводящих к аварийному состоянию и обрушению зданий и сооружений, на конкретных примерах.

Рассмотрим в качестве примера причины обрушения сталелитейного цеха ЛАЗа (Литейно-арматурный завод) 7.12.1988 году. Высота здания 35 м. Стропильные фермы покрытия из уголков по среднему ряду опирались на подстропильные фермы, пролётом 24 м. Колонны сварные, двухступенчатые, двутавровые вверху и решётчатые в нижней части. В большем пролёте здание было обору-

в двух ярусах, в 18 метровом пролёте — 30 и 20 — тоннами. Покрытие было выполнено из сборных ребристых железобетонных плит покрытия  $1,5 \times 12$  и  $3 \times 12$  м. В результате аварии обрушилось  $4032 \text{ м}^2$  покрытия сталелитейного цеха; был нанесён значительный материальный ущерб, погибли люди. При установлении причин аварии комиссия пришла к следующим выводам [2, с. 76]:

- использование *кипящей* стали (СтЗкп) в качестве основного материала для конструкций;
- низкое качество железобетонных плит покрытия  $3 \times 12$  м;
- периодическое замачивание утеплителя приводило к *превышению действующих нагрузок*;
- повышенная снеговая нагрузка;
- повышенная динамическая нагрузка;
- беспрогонная система покрытия (её функции были возложены на ребристые плиты).

Эти причины характерны практически для всех обрушений промышленных зданий, случившихся на территории России.

Опыт расследования причин аварий зданий и сооружений показывает, что они являются следствием нарушения требований нормативных документов при выполнении проектно-изыскательских и производственных строительно-монтажных работ, изготовлении строительных материалов, конструкций и изделий; несоблюдения норм и правил технической эксплуатации зданий и сооружений. Как правило, аварии являются следствием невыгодного сочетания нескольких из этих факторов.

На примере ЛАЗа, можно рассмотреть основные мероприятия, выполнение которых, могло бы помочь, если не избежать, то хотя бы минимизировать ущерб. Остановимся на этом подробнее.

Недопустимость использования кипящей стали для изготовления строительных конструкций. Сварные швы при сварке элементов из кипящей стали имеют *высокий коэффициент* концентрации напряжений и *низкую прочность* при динамических нагрузках, что особенно актуально в промышленных зданиях, где динамические нагрузки являются неотъемлемой частью эксплуатации. Поэтому стальные конструкции должны выполняться из спокойной стали, что должно быть заложено ещё на уровне проектирования и во время строительства строго проверяться.

Низкое качество железобетонных плит покрытия (размером  $3 \times 12$  м) объясняется тем, что в период возведения здания они только начинали применяться, технология их изготовления была ещё не отработана, что существенно сказалось на их характеристиках.

К сожалению, превышение действующих нагрузок вследствие периодического замачивания утеплителя очень частое явление не только на промышленных, но и на общественных зданиях. Зачастую (как это было и на ЛАЗе) своевременное устранение протечек кровли не выполнялось. В качестве гидроизоляционного материала использовался рубероид (на момент обрушения существовало несколько слоёв).

И повышенная динамическая нагрузка возникла вследствие нарушения правил эксплуатации цехового оборудования, что, в свою очередь, объясняется низкой культурой производства, и попустительством со стороны проверяющих органов.

Все эти факторы усугубила и беспрогонная система покрытия (функции прогонов были возложены на ребристые плиты). Авария развивалась так: 12 метровая железобетонная плита (массой около 10 т) срывается одним концом с фермы и падает, удерживаясь сваркой за вторую, закручивает сжатый пояс второй фермы, который теряет устойчивость. Ферма обрушивается, и ситуация повторяется. Обрушение происходило лавинообразно, и остановилось, только дойдя до температурного шва, разрушив тем самым весь температурный блок. При использовании же прогонов, этого удалось бы избежать, и, в случае, обрушения даже нескольких плит, разрушение бы не пошло дальше.

Обрушение на Пензенском ЛАЗе относится к первой группе предельных состояний. Данный вид обрушения является наиболее опасным, так как оно происходит внезапно, хрупко, без видимых перемещений и деформаций. В настоящее время нужно стремиться к переходу к таким конструкционным схемам, при которых первое предельное состояние не возникало бы, например, к балочным системам покрытия.

Но все эти негативные факторы, приведшие к аварии и обрушению здания, можно (и нужно) было выявить не *после*, а *до обрушения*, путём комплексного технического обследования.

Техническое обследование здания и сооружения должно проводиться в два этапа [3, с. 166]:

- предварительное обследование;
- детальное обследование.

*Предварительное обследование* включает в себя следующие основные работы:

- анализ и изучение проектной документации (строительных чертежей и заключений об инженерно-геологических условиях);
- визуальный наружный и внутренний осмотр конструкции с необходимыми обмерами (конструкция сопряжения, стыков элементов, условия опирания, нарушения сплошности, характер трещин и т.п.);
- обследование фундаментов зданий и их состояния путём проходки шурфов;
- инженерно-геологические работы (бурение скважин, зондирование, отбор проб грунтов, лабораторные исследования и др.) для установления фактических характеристик грунтов.

Обследование зданий и сооружений на первом этапе заканчивается оценкой изменения инженерно-геологических условий за период строительства и эксплуатации, установлением причин имеющихся деформаций, трещинообразованием и составлением дефектной ведомости.

*Детальное обследование* включает следующие работы:

— отбор проб и определение прочности материалов несущих конструкций неразрушающими методами на механическом прессе лаборатории;

— контрольные замеры и составление схем расположение несущих конструкций и поперечных разрезов здания;

— выполнение поверочных статических расчётов элементов конструкций здания и определение нагрузок на фундаменты с учётом их увеличения при реконструкции;

— определение расчётного сопротивления грунтов основания применительно к существующей конструкции фундамента при увеличении нагрузок.

Обследование зданий и сооружений на втором этапе заканчивается составлением технического, заключения о физико-механических свойствах грунтов и материалов конструкций, принимается расчётная схема несущих конструкций, и сооружения в целом с учётом выявленных дефектов.

В заключении по техническому обследованию здания приводятся также рекомендации по усилению конструкций, дальнейшему использованию, наблюдения за строительными конструкциями и всем сооружением в целом (деформационный мониторинг).

### Литература

1. Пермяков М.Б. Аварии промышленных зданий: анализ причин// Электронный журнал Предотвращение аварий зданий и сооружений
2. Кузин Н.Я., Нежданов К.К., Елизаров Ю.В. и др.// Обследование строительных конструкций сталелитейного цеха ЛАЗа после обрушения и разработка рекомендации по и разборке. — Пенза. 1989.
3. И.Н.Гарькин, В.С. Сухно, М.А.Петрянина, Л.Н.Петрянина//Новые достижения по приоритетным направлениям науки и техники//сб.докладов Междунар. науч.-техн. конф. Молодых учёных и исследователей 12–16 апреля 2010г. //Наука молодых — интеллектуальный потенциал XXI века: сб. докл. Междунар. науч форума. — Пенза: ПГУАС, 2010.-С.166–167

## Моделирование производственных процессов предприятий машиностроительного комплекса с помощью конечных автоматов

Гоголина Л.С., аспирант

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Машиностроительные отрасли (например, авиапромышленность, ракетостроение, автомобилестроение и др.) до наступления XX века были не просто приоритетными отраслями развития СССР, но и составляли существенную конкуренцию на международном уровне. Однако кризис привел машиностроительную промышленность практически к губительному состоянию, и сейчас российским машиностроителям необходимо найти существенно новый выход из сложившейся ситуации для поднятия конкурентоспособности, а значит необходимо не только изыскивать новые способы развития производства (например, внедрение в производство новых изделий, материалов, техническое перевооружение предприятия), но и решать проблемы управления внутренней и внешней координации каждого предприятия.

Одним из таких подходов является автоматизация производства и построение математической модели всех стадий жизненного цикла изделия (далее — ЖЦИ). Отслеживание процесса производства в реальном времени, моделирование как самих изделий, так и введения нового изделия в уже загруженные мощности позволяют существенно сократить издержки предприятия за счет возможных оптимизаций, заданных в математической модели, а также модельных экспериментов.

На протяжении всего ЖЦИ изделие проходит ряд определенных этапов, характеризующихся определенными изменениями «формы» от возникновения идеи до утилизации этого изделия (рис. 1) [1, с. 49].

1. Этап маркетинга. Данный этап является необходимым шагом в определении потребностей покупателей и, как следствие, выстраивания стратегии развития предприятия целиком. Этот этап охватывает полный цикл исследования и анализа рынка, сбор информации и ее обработки, а также прогнозирования потребностей в будущем. Окончанием данного этапа, как правило, является составление отчета о проделанной работе с указанием основных требований потребителей.

2. Этап разработки продукции. Так как для производства продукции существуют определенные ограничения по нормативам, то для производства нового изделия необходимо учесть все функциональные и экономические критерии и показатели. На данном этапе разрабатывается проектная, конструкторская, технологическая и пр. документация, проводится техническая и экономическая экспертиза проектов. Окончанием данного этапа является составление и утверждение технического задания соответственно на НИР, ОКР, технический проект (ТП), экономический проект (ЭП). В отчет также входят схемы,



графики, макеты, спецификации и т.п. Также составляется требование к внешнему виду изделия для разработки упаковки.

3. Этап материально-технического обеспечения. На основании отчета 2 этапа составляется требование о необходимых материалах и комплектующих, требуемого качества и количества для этапа производства и необходимые требования к сопутствующим изделиям. Данный этап завершается закупкой всех необходимых материалов и комплектующих изделий для производства.

4. Этап подготовки производства. На данном этапе проводится полная подготовка к производству нового изделия. Собирается вся необходимая информация, комплектуется техническая, конструкторская и технологическая документация, проводится окончательная поставка всех необходимых комплектующих изделий, производится набор и/или обучение персонала, подготовка к производству оборудования, транспортных средств, складов и т.п. Окончанием данного этапа является подписание договоров с поставщиками ресурсов, договоров с другими подрядчиками, необходимыми для процесса производства, а также снабжение производственных цехов всеми необходимыми ресурсами и окончательная подготовка для начала производства.

5. Этап производства. На данном этапе осуществляется выпуск нового изделия. Окончанием данного этапа является снятие с производства нового изделия. При первоначально произведенной партии новое изделие проходит полный контроль плановых показателей для составления отчета о плановых и фактически полученных результатах.

6. Этап контроля и экспертизы. На данном этапе производится сбор, обработка и анализ информации о фактически произведенной продукции. Сравнение с плановыми показателями, выявление отклонений и анализ причин таких отклонений. Окончанием данного этапа является составление и определение основных мероприятий для достижения плановых показателей и намеченных целей, а также устранение (по возможности) причин этих отклонений.

7. Этап упаковки и хранения. В соответствии с требованиями к упаковке, изложенными на 2 этапе ЖЦИ разрабатывается упаковка изделия для сохранения всех показателей и свойств изделия, а также удобства хранения и транспортировки. Кроме того, производится классификация и разметка изделий для распределения на склады производителя. После этого производится подписание контрактов на поставку изделия потребителю, а также подписание контрактов с транспортными организациями (в случае необходимости).

8. Этап реализации и распределения. Все доставленные изделия на склады производителя транспортируются на склады посредников или конечному пользователю. В случае если изделие не пользуется спросом, то оставшиеся изделия остаются на складах производителя. Окончанием данного этапа является подготовка к эксплу-

атации потребителем нового изделия, либо подготовка к утилизации или модификации нераспределенных изделий на складах производителя (иными словами возврат к 1 этапу).

9. Этап монтажа и эксплуатации. На данном этапе происходит установка, монтаж и введение в эксплуатацию изделия у конечного пользователя. Окончанием данного этапа может быть подписание договоров о техническом обслуживании и проведении ремонтов. В этом случае производитель (посредник) заключает договора, и в случае необходимости эксплуатант направляет требование для проведения технического обслуживания и ремонта (ТОиР). В этом случае производитель (самостоятельно/через посредника/сам посредник) обязан направить на предприятие-эксплуатант рабочей группы для обслуживания оборудования и проведения необходимого ТОиР.

10. Этап технической помощи в обслуживании. На данном этапе, в случае получения заявки эксплуатанта о наличии неисправностей, производитель направляет на предприятие-эксплуатанта ремонтные группы и другой необходимый персонал. Данная группа проводит анализ эксплуатируемого изделия и проводит ТОиР в случае необходимости. Окончанием данного этапа является полная готовность изделия к производству. В случае необходимости производитель заключает с эксплуатантом необходимый договор об обучении рабочего персонала эксплуатанта, либо о выделении и закреплении за эксплуатантом группы специалистов производителя для получения необходимой информации и оказываемых производителем услуг.

11. Этап послепродажной деятельности. На данном этапе происходит обучение персонала эксплуатанта и снабжение его всей необходимой документацией. Контроль закрепленной группы производителя за работой изделия. Окончанием данного этапа может являться заключение специальной группы о нецелесообразности дальнейшей эксплуатации оборудования из-за его физического износа. В этом случае во все необходимые отделы производителя направляются необходимые запросы для разработки дальнейшей стратегии предприятия и возможной разработки нового аналогового изделия.

12. Этап утилизации. После получения заключения экспертных подразделений о нецелесообразности дальнейшего использования изделия изделие снимается с производства и перевозится в центры по утилизации. Окончанием данного этапа является утилизация (полное уничтожение) данного изделия.

Далее в соответствии с этапом 11, начинается новое исследование рынка (этап 1).

Так как при создании нового изделия задействовано большое количество взаимодействующих процессов, подразделений и организаций необходимо создание среды, с помощью которой можно было бы поддерживать ЖЦИ на протяжении всех его стадий. Потребность в создании

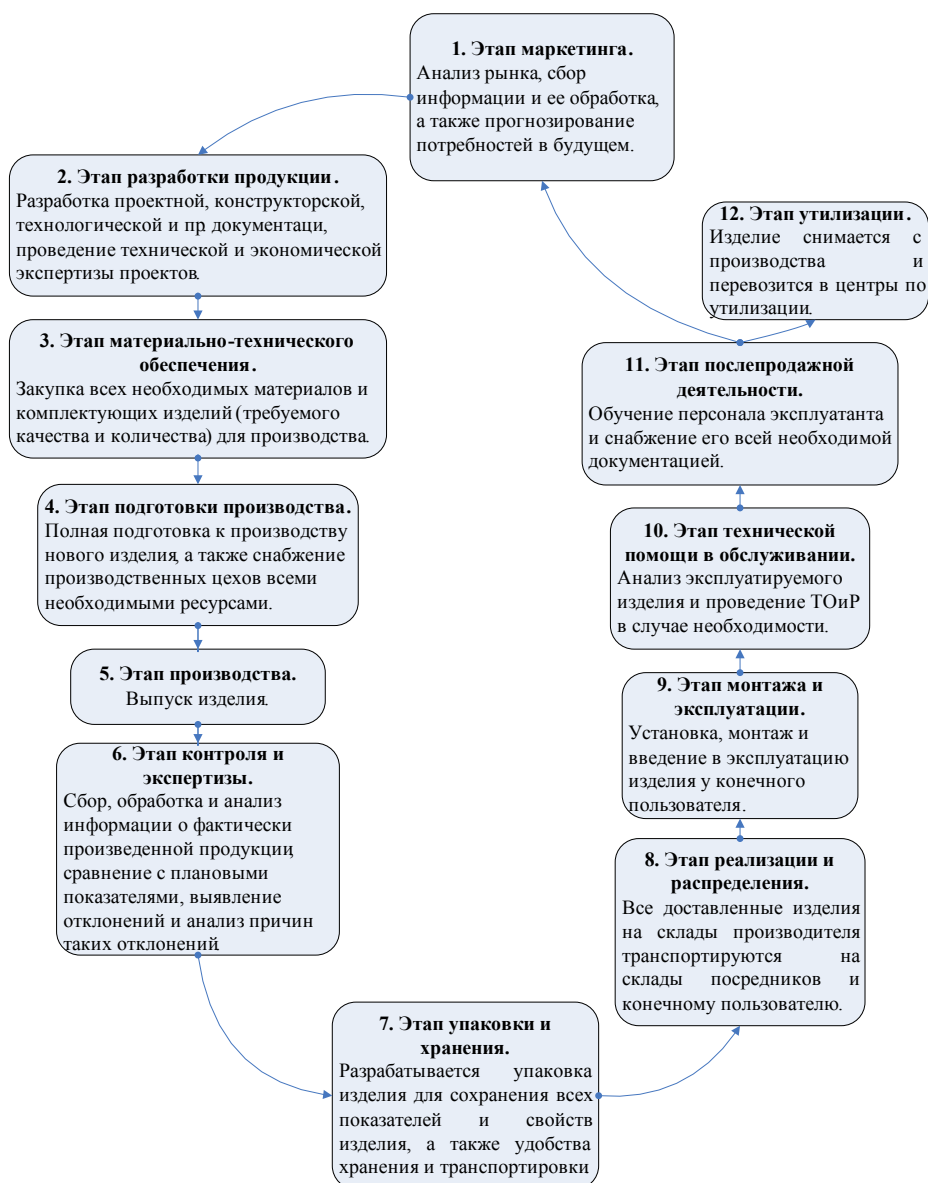


Рис. 1. Жизненный цикл изделия

такой среды привела к созданию интегрированной информационной среды, позволяющей координировать взаимодействие всех участников такой системы и создавать единое информационное поле, включая как поставщиков, так и потребителей.

В связи с этим в современном мире появилась новая методология управления предприятием — Инженерный консалтинг.

Целью данной методологии стала сбалансированная работа всех уровней предприятия, минимизация производственного цикла в целом (а не отдельными участками, как предлагают многие методики), уменьшение себестоимости изделия, не ухудшая его качества, постепенно реализуя задачи с нижнего уровня предприятия (производство) на верхний уровень (стратегия развития предприятия) через конструкторско-технологическую и оперативную переподготовку бизнес-процессов предприятия, новые технологии и автоматизацию.

На сегодняшний момент нет точного определения понятия «Инженерный консалтинг». Р.А. Бирбайер и И.Г. Альтшулер дают следующее определение:

Инженерный консалтинг — это новая область в сложившейся в мире структуре консалтинга, основанная на:

- Методологии последовательной реализации (со специалистами предприятия) производственных проектов трех типов: обосновывающих, внедренческих и тематических;
- Гарантированном достижении ожидаемых результатов от рекомендуемых консультантами новых технологий на машиностроительном предприятии [2, с. 46].

Инженерный консалтинг (далее — ИК) ориентирован на построение так называемого «умного производства», ориентированного на:

- 1) наличие электронной модели производства изделий (в т.ч. технические, технологические и экономические параметры изделия)



2) введение на предприятии единой системы нормативов и требований

3) градацию, обучение и сертификацию кадров

4) открытую систему планирования и контроля за инвестициями предприятия

5) внедрение системы контроля за сроками, затратами и качеством производимых изделий

На основе ИК в настоящее время стал развиваться такой метод построения организационной модели, как параллельный инжиниринг.

Параллельный инжиниринг (далее — ПИ) — метод, при котором обеспечивается комплексная параллельная разработка продукции и сопутствующих процессов, предусматривая с самого начала рассмотрение всех составляющих жизненного цикла продукции от разработки концепции до утилизации.

В основе ПИ лежит распараллеливание производственных процессов под определенные заказы потребителей, создавая многопрофильные группы специалистов различных подразделений (конструкторов, технологов, специалистов информационного отдела и т.д.). Иными словами за определенным стратегическим заказом предприятия закрепляется определенная группа специалистов различных подразделений (например, технолог, конструктор, маркетолог и т.д.), которая в режиме реального времени может вносить изменения в проект по требованию потребителя. ПИ позволяет объединить в единый проект даже территориально распределенных специалистов, что ликвидирует традиционные временные барьеры взаимодействия подразделений.

Но эффективная реализация такого проекта невозможна без своевременной и адекватной оценки положения предприятия, его структуры и возможностей.

Однако ИК позволяет оценить предприятие и его положение только на стадиях подготовки производства и самого производства. Кроме того, ИК при моделировании выстраивает статическую модель преобразования предприятия. Бурный рост и развитие рынка сейчас требует построения такой модели производства, чтобы в случае изменения требований и условий внешней среды можно было вносить корректировки. Это привело к необходимости создания такой методологии, которая не только реализовывала нововведения, но охватывала все стадии жизненного цикла изделия и производства не только в статической математической модели, но и в динамическом проектировании с преобразованием в реальное производство.

Такой методологией является Организационно-технический консалтинг (далее — ОТК). Данный вид консалтинга позволяет перестраивать и налаживать более короткие связи между функциональными подразделениями за счет организации ПИ, что позволяет в короткие сроки спроектировать и дать оценку новому изделию, заранее выявляя достоинства и недостатки за счет математической модели. ОТК по сравнению с другими методологиями не только объединяет основные характерные черты основных направлений консультирования и проектиро-

вания, но и является более гибким по отношению к рынку, то есть позволяет предприятиям гибко реагировать на изменения рынка, перестраивать производственные процессы в зависимости от изменений на рынке и применять более эффективные стратегии.

ОТК — это ряд процедур, направленных на решение всех основных проблем предприятия, оптимизацию конфликтных ситуаций, повышение эффективности производства, внедрение автоматизации, техническое перевооружение, постановку новых стратегий развития и др., основанных на реструктуризации предприятия с учетом требований и задач рынка. Стоит отметить, что ОТК позволяет предприятию существенно сократить собственные расходы путем внедрения автоматизации и наладки координации внутри предприятия, решить психологические и организационные проблемы предприятия и первыми вывести на рынок продукцию, необходимую потребителю. Иными словами, целью ОТК является выстраивание системы управления и производства предприятия машиностроительной отрасли в зависимости от динамики развития рынка.

Основными задачами ОТК являются:

- Анализ рынка (спроса, определение основных конкурентов, требований потребителя и др.);
- Оптимизация структуры предприятия и его управления на основе ПИ;
- Решение вопросов нехватки ресурсов (поиск источников, распределение, эффективное использование);
- Решение вопросов кадровой политики (поиск новых сотрудников, переподготовка кадрового состава, повышение эффективности труда);
- Моделирование процессов производства, приобретение и разработка необходимого программного обеспечения;
- Сокращение времени исполнения заказов;
- Внедрение на предприятие новых технологий или новой номенклатуры производимой продукции и др.

Необходимо особо отметить, что ОТК высокоэффективен при внедрении не только на новое предприятие, но и для поднятия конкурентоспособности уже действующего. Ведь математическая модель может учесть все нюансы и текущее состояние предприятия, его заключенные контракты и стратегические цели. При внедрении на предприятия концепция ОТК опирается на один из методов математического моделирования — метод конечных автоматов.

Данный метод позволяет реализовать управление всеми бизнес-процессами на протяжении всего жизненного цикла изделия с контролем в режиме реального времени.

Как было сказано выше, изделие проходит ряд определенных состояний: маркетинг, разработка продукции, материально-техническое обеспечение, подготовка производства, производство, контроль и экспертиза, упаковка и хранение, реализация и распределение, монтаж и эксплуатация, техническая помощь в обслуживании, послепродажная деятельность, утилизация [1, с. 49].

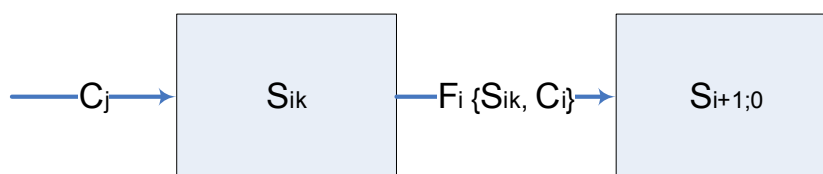


Рис. 2. Наступление события  $C_i$  и переход системы из состояния  $S_{ik}$  в состояние  $S_{i+1;0}$  по функции перехода  $F_i(S_{ik}, C_i)$ .

Если каждому состоянию присвоить наименование  $S_i$ , то множество  $S$  отображает множество состояний реактивной системы (система, реагирующая на внешние действия в случайные моменты времени) на протяжении всех 12 этапов ЖЦ изделия:

$$S = \{S_1, \dots, S_{12}\}.$$

Однако каждое состояние системы  $S_i$  представляет собой совокупность трех состояний: начальное состояние  $S_{i0}$ , внутреннее состояние  $S_i$  и конечное состояние  $S_{ik}$ .

$$S_i = \{S_{i0}, S_i, S_{ik}\}, \text{ где } i = 1, \dots, 12.$$

Это связано с тем, что на определенном этапе система не постоянна, а постоянно преобразуется. Например, этап маркетинга включает в себя развитие от появления идеи и направления запроса в службу маркетинга ( $S_{i0}$ ) до составления полного отчета по рынку ( $S_{ik}$ ). Причем в данном случае сам сбор информации о рынке ( $S_i$ ) может занимать большой промежуток времени.

При завершении какого-либо этапа, в систему поступает какое-либо событие (например, наложения требований к изделию, подписания договора и т.д.) благодаря которому система должна перейти в следующее состояние. Так как развитие продукции не заканчивается на утилизации (начинается новый виток жизненного цикла) в системе должно также присутствовать 12 событий. Иными словами,  $C$  — множество событий, влияющих на переход системы из состояния в состояние

$$C = \{C_1, \dots, C_{12}\}$$

Основным ограничением является невозможность перехода системы на новый этап, если система не завершила работы на данном этапе. Иными словами, событие только тогда имеет место, когда система перешла в свое конечное состояние  $S_{ik}$  в рамках данного этапа.

Так как при наступлении события  $C_i$  система должна развиваться строго по заданному направлению и занять определенное состояние системы, то мы можем полагать, что нам заранее известна функция перехода системы из состояния в состояние —  $F = \{F_1, \dots, F_{12}\}$ , где  $i = 1, \dots, 12$  (также имеет двенадцать нумераций, т.к. после утилизации начинается новый виток жизненного цикла).

Если исходное состояние системы  $S_{ik}$ , а состояние, в которое необходимо перейти автомату  $S_{i+1;0}$  при наступлении какого-либо события  $C_i$ , то по функции перехода новое состояние определяется как  $S_{i+1;0} = F_i(S_{ik}, C_i)$  (Рис.2).

Причем нахождение системы в том или ином состоянии и время перехода из состояния в состояние должно быть

минимизировано.

То есть состояние в следующий момент времени, зависящий от предыдущего состояния во времени будет выглядеть следующим образом

$S_{i+1;0}(t+1) = F_i(S_{ik}(t), C_i)$ , где  $i = 1, \dots, 12$  и промежуток времени нахождения системы в определенном состоянии (определенном этапе) стремится к минимуму. При этом время длительности события  $C_i$  считается ничтожно малым.

Таким образом, каждое предприятие можно представить диаграммой состояний — в виде графа. Причем вершинами данного графа являются состояния данной системы — множество  $S$ , а дуги, заданные функциями перехода  $F_i$ , — переходы из состояния в состояние. Данный граф и является конечным автоматом (далее — КА) (рис.3). Причем на каждом этапе развития КА начинает работать из состояния  $S_{i0}$ .

Следует заметить, что ОТК позволяет не только автоматизировать процессы производства. Внесение в функции перехода и другие переменные величины определенные ограничения или условия, система может существенно сократить не только выполнение определенных стадий, но и смоделировать внедрение новых проектов, а значит позволяет существенно сократить не только временные ресурсы, но и финансовые издержки, что немаловажно в кризисный и посткризисный период. Кроме того, для российской промышленности свойственна многозадачность (тогда как в западных странах предприятия обычно ориентированы в основном на стратегические задачи предприятия).

Необходимо особо отметить, что ОТК высокоэффективен при внедрении не только на новое предприятие, но и для поднятия конкурентоспособности уже действующего. Ведь математическая модель может учесть все нюансы и текущее состояние предприятия, его заключенные контракты и стратегические цели. Конечно, данный метод имеет ряд недостатков (например, необходимости изменения структуры коллектива может привести к росту конфликтности, работа на многих проектах должна быть спланирована и четко выполняться, чтобы не «накладывались» проекты с одними и теми же сотрудниками, нововведения всегда требуют существенных затрат на развитие кадров и др.). Однако при внедрении ОТК, предприятие получает возможность не просто улучшить свое производство, но и получает хорошую гибкую базу для дальнейшего развития.



Рис. 3. Жизненный цикл изделия и конечный автомат

### Литература

1. Ибрагимов И.М., Никифоров А.Д., Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. «Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения», Изд.: Academia, 2007, — 304 с.
2. Бирбраер Р.А., Альтшулер И.Г. «Основы инженерного консалтинга: Технология, экономика, организация» — 2-е изд., перераб., доп. М.: Дело, 2007, — 232 с., ил.
3. Голдрат Э., Кокс Д. «Цель» Изд.: Попурри, 2009, — 496 с.
4. Чеботаев А.А., Чеботаев А.Д. «Логистика и маркетинг», Изд.: Экономика, 2005, — 247 с.

Материалы, предоставленные компанией «ГЕТНЕТ Консалтинг».  
Официальный сайт [www.hetnet.ru](http://www.hetnet.ru). Дата обращения: 24.01.2011

## Оптимизация выполнения строительно-монтажных работ при неблагоприятных климатических условиях

Григорьев Я.Ю., кандидат физико-математических наук, доцент;  
Григорьева А.Л., кандидат физико-математических наук, доцент  
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

После революции индустриализация страны потребовала интенсификации всего народного хозяйства страны, в том числе, и строительства. Отсюда и появилась необходимость введения круглогодичного режима строительства.

Всесезонность строительства вызвала необходимость в разработке дополнительных мероприятий, необходимых для компенсации агрессивности климатических факторов с целью обеспечения требований, предъявляемым к технологическим процессам.

Сущность этих мероприятий заключается в привлечении дополнительных ресурсов (материальных, энергетических, трудовых и т.д.), которое неизбежно привлечет к удорожанию строительства.

Выполнение СМР в зимних (экстремальных климатических условиях) сопровождается снижением уровня производительности труда, этот факт общеизвестен.

Современная практика учета агрессивности климатических факторов в зимнее время на нормативном уровне основана на разбиении территории страны на 8 климатических зон, для каждой из которых, определен удельный вес зимнего периода в году в процентном отношении. Это приводит к значительным расхождением в ряде пунктов каждой зоны, которое вызвано геоморфологическим характеристиками местности (формы рельефа, высота над уровнем моря и т.д.).

Таким образом, сложившаяся практика не позволяет точно определить объемы дополнительных ресурсов, необходимых для производства работ в зимнее время и размерность снижения уровня производительности труда.

На основании анализа сложившейся теории и практики учета агрессивности климатических факторов, гипотетически полагаем, что для обеспечения объективности ценообразования, планирования и организационно-технологического проектирования необходимо решить следующие задачи:

- на основе ретроспективного анализа построить временные ряды прогнозируемых уровней производительности труда для каждой группы работ, объединяющим в своем составе технологические процессы, имеющие схожие свойства и ограничения при производстве в зимнее время в пределах специализации рассматриваемой организации на годовой период;

- осуществить подбор оптимальных вариантов выполнения всех технологических процессов среди множества возможных, основанном на критерии минимизации стоимости выполняемых работ;

- оптимизировать топологию календарной сети с целью передислокации работ в положение на календарной линейке и изменению интенсивности работ, соответствующее достижению минимальности затрат всего комплекса работ.

Постановка первой задачи основана на метеорологической изученности всей территории страны, которая различна. Критерием изученности служит глубина исторического периода метеорологических наблюдений, которая, по критериям Госкомгидромета является изученной (полной), если она составляет [1]:

- температура воздуха — 30–50 лет;

- температура почвы — не менее 10 лет;

- максимальная глубина промерзания почвы — 25–30 лет;

- расчетная толщина стенки гололеда — 25–30 лет;

- расчетная ветровая нагрузка — не менее 20 лет.

Если, отсутствует или не соответствует приведенным критериям, хотя бы одно из условий, то регион считается недостаточно изученным.

Неизученным считается регион, в котором отсутствует репрезентативный пост, который находится на удалении, позволяющем осуществлять перенос ее данных на территорию стройплощадки.

В последнем случае, на основании [1], выполняется комплекс инженерно-гидрометеорологических изысканий, состав и содержание которых зависят от цели производства изысканий.

С позиций основных положений математической статистики, аппроксимация временных рядов правомочна при наличии четырех и более рядов.

Основная часть климатических факторов — температура, ветровые характеристики, влажность, атмосферное давление и т.п., образуют непрерывно дифференцируемые временные ряды, образующими систему, называемую погодой.

Наряду с климатическими факторами, образующих непрерывные ряды, в природе имеют место атмосферные явления, например: гроза, дождь, снегопад, метель, поземка, изморозь и т.п. Закономерность возникновения таких явлений, описывается кусочно-непрерывными функциями, носит сложный многофакторный характер. Определение закономерностей в возникновении которых и составляет одну из главных задач метеорологии, но не является строительной задачей.

Исследования непрерывных временных рядов температуры, силы ветра, влажности и других климатических факторов, позволили установить линии трендов и аппроксимировать их полиномиальными выражениями с коэффициентом корреляции, близким к 1, в то время, как попытки аппроксимировать линии трендов линейной, показательной и степенной зависимостью, оказались неправомочными [2].

Несмотря на сложность прогнозирования атмосферных явлений, необходимость которых актуальна, так как, некоторые из них, например, осадки более 5 мм в сутки, приводят к полной остановке производства СМР под открытым небом.

Учет таких явлений возможен посредством стохастического анализа частотности этих явлений.

Практически, безусловное решение этой проблемы возможно при наличии доброкачественного метеорологического прогноза.

Оптимальный выбор технологических процессов основан на исследовании чувствительности технологических процессов к агрессивности климатических факторов.

Выбор основан на определении границ между летней и зимней областью в  $n$  — мерном пространстве числовых полей климатических факторов, чувствительность к агрессивности которых для данных технологических процессов максимальна. Так же определяется граница, за пределами которой, выполнение рассматриваемого технологического процесса невозможно.

В качестве критериев такого анализа, необходимо использовать ограничения, приведенные в нормативных источниках (СНиПы, СН, СП и т.д.).



Если, в нормативных источниках отсутствуют те или иные критерии, они должны быть определены на основании экспериментальных или теоретических исследований.

В настоящих исследованиях, доказано, что в климатических условиях Хабаровского края, наибольшую агрессивность к основным общестроительным технологическим процессам, проявляют экстремальное значение отрицательных температур и ветра [2]. В общем виде, характеристики таких областей будут выглядеть следующим образом (рис. 2).

На рис. 1 показана поверхность, описывающая регрессионную зависимость между параметрами ( $T$  — температура,  $W$  — скорость ветра) от коэффициента производительности  $СМР$  —  $y$ . Данная зависимость описывается уравнением вида:

$$\hat{y} = 0,9988 - 0,0003T^2 - 0,002W^2 \quad (1)$$

Поверхность (1) указывает на области допустимой работы при определенных климатических условиях.

На рис. 2 выделены три области, первая из которых соответствует нормальным климатическим условиям, в которых технологический процесс выполняется без дополнительных мероприятий. Вторая область, градуированная по оттенкам серого, соответствует климатическим условиям, при которых необходимо выполнять дополнительные мероприятия, причем, объем и стоимость этих мероприятий увеличивается по мере продвижения к границе возможности выполнения технологического процесса (на рисунке — по мере затемнения раstra). За пределами этой границы выполнение рассматриваемого технологического процесса невозможно и запрещено на нормативном уровне.

В регрессионном анализе область, в которой выполнение технологического процесса происходит в обычном режиме, описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} W \geq 0, \\ 0,9988 - 0,0021 \cdot W^2 - 0,0003 \cdot T^2 - C \leq 0, \end{cases} \quad (2)$$

где  $C$  — критическое значение температуры, утвержденное ГОСТом.

Область, в которой выполнение технологического процесса требует разработки дополнительных мероприятий, описывается системой вида:

$$\begin{cases} W \geq 0, \\ 0,9988 - 0,0021 \cdot W^2 - 0,0003 \cdot T^2 - C \geq 0, \\ 0,9988 - 0,0021 \cdot W^2 - 0,0003 \cdot T^2 - C1 \geq 0, \end{cases} \quad (3)$$

### Литература

1. Афанасьев А.А., Матвеев Е.П., Монастырев П.В. Индустриальные методы облицовки фасадов зданий при их утеплении // Промышленное и гражданское строительство. ООО «Издательство ПГС», 2005 — 200с.
2. Федосенко В.Б. Особенности ценообразования объектов недвижимости в строительном комплексе Дальнего Востока и Крайнего Севера // Промышленное и гражданское строительство. ООО «Издательство ПГС», 2003 — 230 с.
3. СП 11—103—97. Свод правил. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. М.: 1997.

где  $C1$  — значение параметра  $T$ , при котором выполнение технологического процесса не возможно при любых дополнительных условиях.

Математическая модель, состоящая из (1), (2) и (3) описывает технологический процесс с учетом климатических областей, как требующих дополнительных мероприятий, так и происходящий в идеальных условиях.

Выполненный анализ технологий по данной методике обогащает технологию строительного производства и предъявляет дополнительные требования системного характера к содержанию нормативных источников, регламентирующих строительную технологию.

Постановка и решение задачи требующей дополнительных мероприятий основано на минимизации стоимости строительства путем изменения топологии календарной сети с одновременной оптимизацией продолжительности выполнения отдельных работ.

Решение этой задачи состоит из двух параллельных этапов.

Первый заключается в определении удорожания стоимости выполнения работ за счет возрастания агрессивности климатических факторов по мере передислокации работы с календарного промежутка времени, с относительной низкой агрессивностью климатических факторов в период с более высокой. То есть, на этом этапе определяется непосредственно «зимнее удорожание», сущность которого можно сформулировать следующим образом — *зимнее удорожание выражается увеличением стоимости выполняемых работ в неблагоприятный (зимний) период и численно равно стоимости дополнительных мероприятий, необходимых для компенсации агрессивности климатических факторов в условиях данного строительства и компенсации снижения уровня производительности труда путем увеличения фонда заработной платы.*

*С позиций экономики — зимнее удорожание и будет объективно установленной платой за производство СМР в экстремальных климатических условиях.*

Снижение уровня производительности труда неизбежно при производстве СМР в экстремальных климатических условиях. Этот факт общеизвестен и объясняется физиологическими возможностями человека, которые снижаются в суровых климатических условиях, и как следствие — падает уровень производительности труда. Учет такого снижения и будет составляющей второго этапа.

## Классификация последовательностей, порожденных близкими скрытыми марковскими моделями, при наличии шума

Гультяева Т.А., ассистент; Попов А.А., доктор технических наук, профессор  
Новосибирский государственный технический университет

По своей природе скрытые марковские модели (СММ) позволяют непосредственно учитывать пространственно-временные характеристики последовательностей и поэтому получили широкое применение [1], [2]. Имея хорошие описательные способности, СММ не всегда демонстрируют необходимые дискриминирующие свойства, важные для задач классификации.

Задачу классификации будем понимать в следующем смысле. Имеется исходное множество объектов, разделённых экспертом на классы (обучение с учителем). Из него каким-либо способом отбирается часть объектов, образующих обучающую выборку. Требуется построить алгоритм, способный классифицировать произвольный тестовый объект из исходного множества.

СММ полностью описывается ненаблюдаемой (скрытой) марковской цепью, вероятностями наблюдаемых символов и вероятностями начальных состояний:  $\lambda = (A, B, \pi)$ . В данной работе рассматривается случай, когда функция распределения вероятностей наблюдаемых символов описывается смесью нормальных распределений. Параметры смеси задаются таким образом, чтобы скрытое состояние ассоциировалось лишь с одним своим наблюдаемым состоянием.

Традиционно при использовании СММ используется классификатор, основанный на отношении логарифмов функций правдоподобия: последовательность  $O$  считается порожденным моделью  $\lambda_1$ , если выполняется:

$$\ln L(O | \lambda_1) > \ln L(O | \lambda_2). \quad (1)$$

Иначе — считается, что последовательность порождена моделью  $\lambda_2$ . При неизвестных параметрах моделей  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  сначала производится их оценка (например, с использованием метода максимального правдоподобия [1]).

Если конкурирующие модели близки по параметрам, а наблюдаемые последовательности не являются чисто гауссовскими последовательностями, то традиционная техника классификации с применением (1) далеко не всегда дает приемлемые результаты.

Для приближения к реальной ситуации все наблюдаемые последовательности при моделировании подвергались искажению. Задача состояла в сравнении в этих условиях возможностей традиционной методики классификации, основывающейся на (1), с классификатором  $k$  ближайших соседей ( $kNN$ ) в пространстве признаков, в качестве которых использовались первые производные от логарифма функции правдоподобия по элементам матрицы  $A$  двух моделей  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  [3]. Предложенная схема классификации описана в [4].

Зашумление производилось по двум различным схемам:

$$y = (1 - \omega) \cdot u + \omega \cdot e, \quad (2)$$

$$y = \begin{cases} u, & P_u = 1 - p, \\ e, & P_e = p. \end{cases} \quad (3)$$

Схема (2) использовалась для моделирования аддитивного шума, а (3) — для вероятностного шума. Оба случая также подразделялись на схему с шумом, имеющим одинаковые параметры в каждом скрытом состоянии модели, и схему с разными параметрами.

Исследования проводились при следующих условиях. Две модели определены на одинаковых по структуре скрытых марковских цепях и различаются только матрицами переходных вероятностей:

$$A^{\lambda_1} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.7 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix}, \quad A^{\lambda_2} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.7 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix} + \epsilon$$

$$A^{\lambda_2} = \begin{pmatrix} 0.1+d & 0.7-d & 0.2 \\ 0.2 & 0.2+d & 0.6-d \\ 0.8-d & 0.1 & 0.1+d \end{pmatrix}.$$

Параметры гауссовских распределений для моделей  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  выбирались одинаковыми:  $\mu_1 = 0$ ,  $\mu_2 = 5$ ,  $\mu_3 = 10$ ,  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 1$ .

Вероятности начальных состояний также совпадали:  $\pi = (1, 0, 0)$ .

Обучающие и тестовые последовательности моделировались по методу Монте-Карло. Для проведения экспериментов было сгенерировано по 5 обучающих наборов последовательностей. К каждому набору этих последовательностей моделировалось по 5 тестовых наборов. Каждый набор содержал по 100 последовательностей для каждого класса. Таким образом, всего было смоделировано  $10 \cdot K_{learn}$  обучающих и 1000 тестовых последовательностей. Здесь  $K_{learn}$  — это количество обучающих последовательностей в каждом классе. Результаты классификации усреднялись.

Исследования проводились при разном уровне шума  $\omega$  и  $p$ , различной длине последовательностей  $T$ , степени близости моделей по матрице  $A$ , количестве обучающих последовательностей  $K_{learn}$ . В качестве распределения шума было выбрано распределение Коши, т.к.



это распределение имеет тяжелые хвосты и часто используется как некий индикатор в исследованиях, связанных с робастными методами оценивания параметров. Это было сделано для того, чтобы посмотреть, как ведет себя традиционный классификатор в сравнении с классификатором, базирующимся на  $kNN$ .

Ниже приводится сравнение качества классификации зашумленных последовательностей при используемых схемах (2) и (3) для шума с одинаковыми параметрами в каждом скрытом состоянии и с разными параметрами в скрытых состояниях.

Далее на всех рисунках график, отражающий результаты классификации для  $kNN$ , имеет пунктирную линию, а график для традиционного подхода — сплошную линию.

На рис. 1 (а) — рис. 8 (а) приведены зависимости процента верно классифицированных последовательностей при распределении ошибок по закону Коши с параметрами, одинаковыми для каждого скрытого состояния:  $e > C(0, 0.1)$ , и на рис. 1 (б) — рис. 8 (б) — по закону Коши с параметрами разными для каждого скрытого состояния:  $e_1 > C(0, 0.1)$ ,  $e_2 > C(5, 0.1)$ ,  $e_3 > C(10, 0.1)$ .

На рис. 1 — 4 приведены зависимости для аддитивного шума. При этом параметры (если в зависимости от них не изменялись проценты классификации на графиках), заданы следующим образом:  $d = 0.1$ ,  $T = 100$ ,  $K_{learn} = 100$ ,  $\omega = 0.1$ .

По рис. 1 видно, что при шуме, одинаковом в каждом скрытом состоянии (рис. 1 (а)), идет снижение качества классификации, в то время как при шуме, разном в каждом скрытом состоянии, наблюдается постепенное увеличение процента верно классифицированных последовательностей (рис. 1 (б)). Это объясняется тем, что во втором случае шум воспринимается не как искажение, а как наблюдаемый сигнал, т.к. параметры смещения шума и нормальных распределений для СММ  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  совпадают.

На рис. 2 наблюдается одинаковый характер зависимостей: чем модели дальше по параметру  $d$ , тем выше процент верной классификации как для стандартной методики, так и для  $kNN$ .

На рис. 3 (б) наблюдается интересный эффект: с увеличением длины последовательностей процент верно классифицированных последовательностей остается на одном и том же уровне (около 60%).

На рис. 4 наблюдается то, что увеличение числа обучающих последовательностей не влечет увеличения качества классификации, причем для  $kNN$  наблюдается эффект переобучения: снижение процента верной классификации при росте  $K_{learn}$ .

На рис. 5—8 приведены зависимости для вероятностного шума. При этом параметры (если в зависимости от них не изменялись проценты класси-

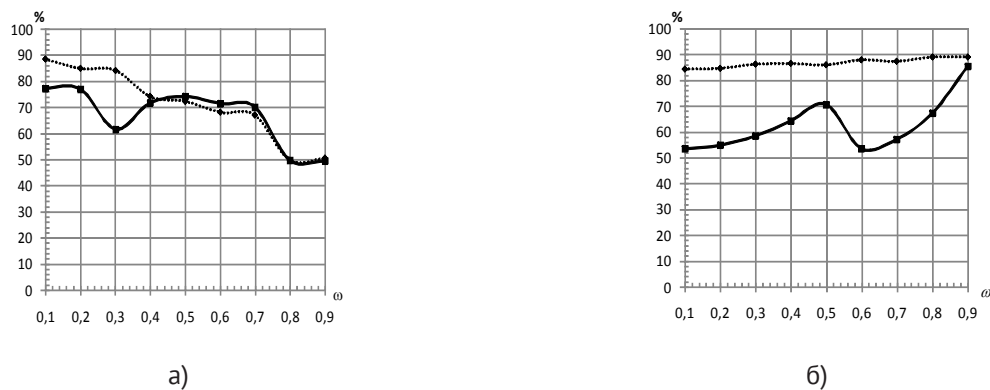


Рис. 1. Зависимость процента верно классифицированных последовательностей от уровня шума  $\omega$

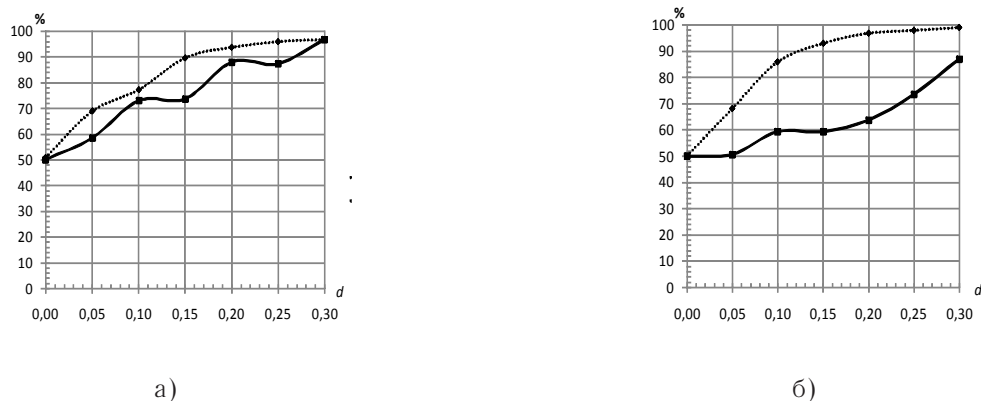


Рис. 2. Зависимость процента верно классифицированных последовательностей от параметра близости моделей  $d$

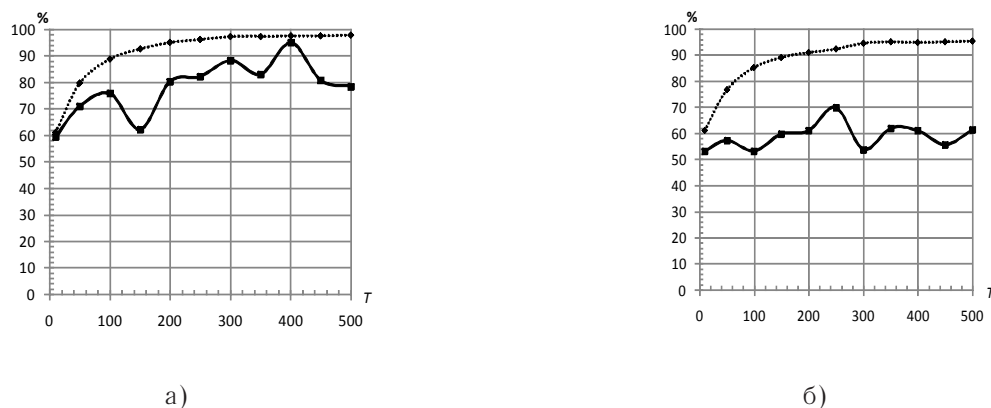


Рис. 3. Зависимость процента верно классифицированных последовательностей от длины последовательности  $T$

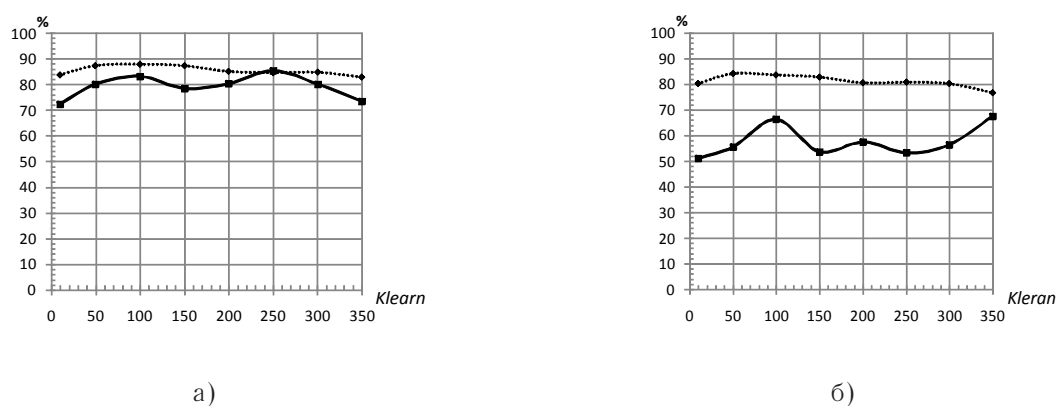


Рис. 4. Зависимость процента верно классифицированных последовательностей от количества обучающих последовательностей в каждом классе  $K_{learn}$

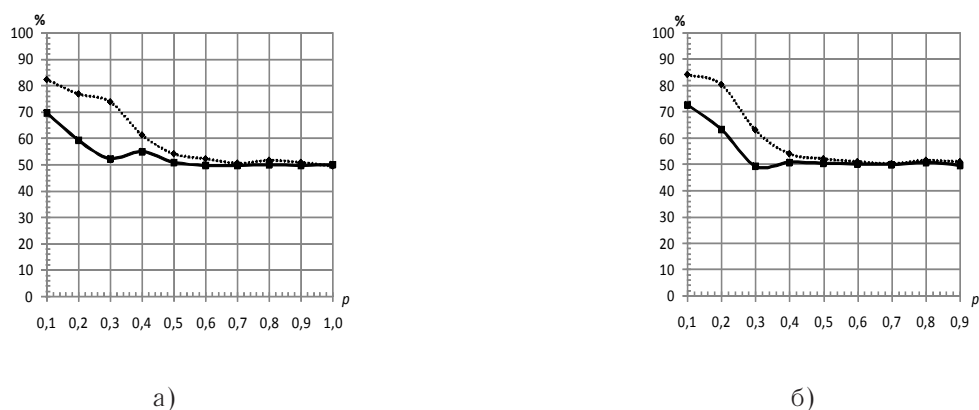


Рис. 5. Зависимость процента верно классифицированных последовательностей от вероятности возникновения шума  $P$

фикации на графиках) заданы следующим образом:  $d = 0.1$ ,  $T = 100$ ,  $K_{learn} = 100$ ,  $p = 0.1$ .

На рис. 5 наблюдается постоянное снижение процента верной классификации (при  $p \leq 0.6$ ).

Характер зависимостей, приведенных на рис. 6 – рис. 8 аналогичен зависимостям на рис. 2 – рис. 4.

Судя по проведенным исследованиям, можно сделать вывод, что предложенный классификатор, базиру-

ющийся на метрическом алгоритме классификации  $kNN$ , имеет процент верно классифицированных зашумленных последовательностей выше, чем классический классификатор, основывающийся на отношении логарифмов функций правдоподобия. Следует также отметить более пологое изменение графика, отображающего процент верной классификации для  $kNN$ , в сравнении с графиком для традиционной методики. Это объясняется тем, что ис-

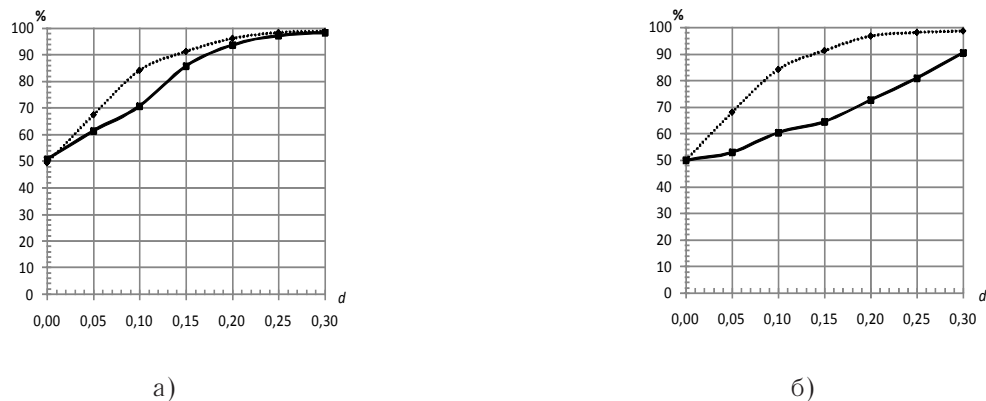


Рис. 6. Зависимость процента верно классифицированных последовательностей от параметра близости моделей  $d$  при вероятности возникновения шума:  $p = 0.1$

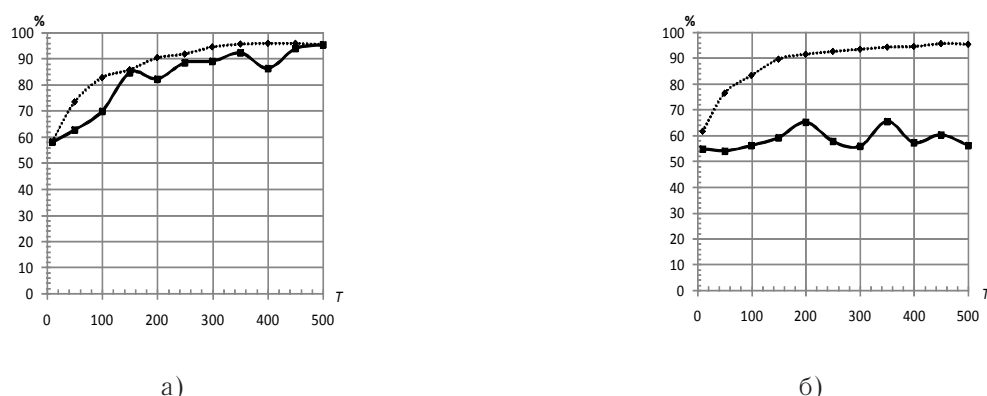


Рис. 7. Зависимость процента верно классифицированных последовательностей от длины последовательности  $T$

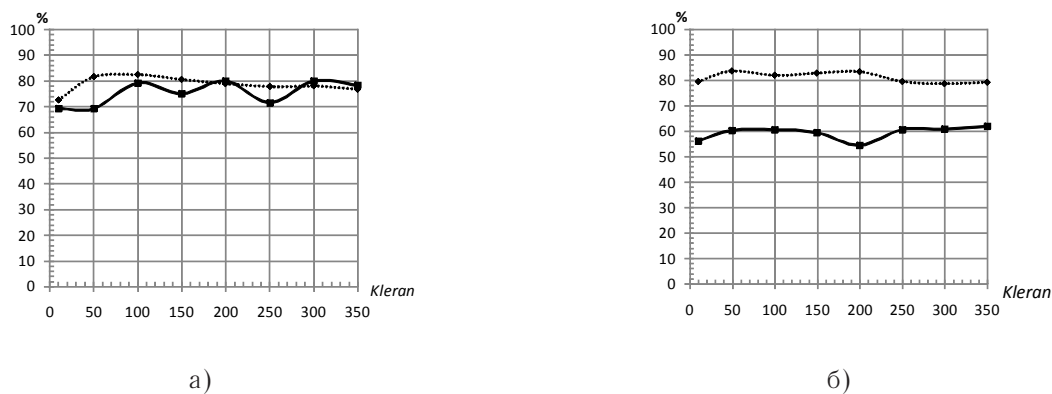


Рис. 8. Зависимость процента верно классифицированных последовательностей от количества обучающих последовательностей в каждом классе  $K_{\text{learn}}$

пользуемый шум, распределенный по закону Коши, относится к распределениям с тяжелыми хвостами, и в этих условиях оценки параметров базового нормального распределения, полученные по методу максимального правдоподобия, становятся смещенными.

Используя модель шума, имеющего разные параметры в каждом скрытом состоянии, в целом получаются резуль-

таты, сходные с результатами классификации при шуме с одинаковыми параметрами. Однако классификатор, основанный на  $kNN$ , в данном случае выигрывает в сравнении с традиционной методикой классификации в среднем на 20 %, что является весьма существенным аргументом для применения предложенного метода при классификации реальных зашумленных сигналов.

## Литература

1. Rabiner, L.R. A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition / L.R. Rabiner // Proceedings of the IEEE. — 1989. — 77 (2). — P. 257–285.

2. Cappe, O. Ten years of HMM [Электронный ресурс] / O. Cappe; CNRS, LTCI & ENST, Dpt. TSI. — Режим доступа: <http://perso.telecom-paristech.fr/~cappe/docs/hmmbib.html>.
3. Гулятьева, Т.А. Особенности вычисления первых производных от логарифма функции правдоподобия для скрытых марковских моделей при длинных сигналах / Т.А. Гулятьева // Сборник Научных трудов НГТУ. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. — № 2(60). — С. 47–52.
4. Гулятьева Т. А. Повышение классификационных свойств скрытых марковских моделей / Т. А. Гулятьева // Информатика и проблема телекоммуникаций: Материалы российской науч.-технич. конф. — Новосибирск: Изд-во СибГУТИ, 2010. — Том I. — С. 52–54.

## Аэрационный дренаж в условиях Туркменистана

Данатаров А., кандидат технических наук, докторант  
Туркменский сельскохозяйственный университет, Ашгабат

**Summary:** *It is established that influence of aeration drainage on vodno-air, salt and thermal modes of soil is shown in increase of water conductivity soil and especially arable sole horizon that the weight provides effective redistribution in thickness of a file of a ground on all its depth. Active regulation of a moisture, salts and heat in soil with presence of aeration drainage has effective influence on productivity of a cotton and especially on old irrigated heavy soils of an arid zone. Results of experimental check have confirmed analytical assumptions of efficiency of application of aeration drainage on cotton systems.*

**Key words:** *of aeration drainage on cotton systems.*

В связи с интенсификацией производственных процессов в сельском хозяйстве возникла проблема уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву, что отрицательно сказалось на ее плодородии и эффективности возделывания сельскохозяйственных культур. Увеличение массы тракторов, комбайнов и других машин приводит к уплотнению не только пахотного, но и подпахотного горизонта почвы до глубины 1 метра. Степень уплотнения почвы зависит также от физико-механических свойств почв, вида возделываемых культур, природно-климатических и других условий.

Основное назначение аэрационного дренажа — улучшения водно-воздушного, солевого и теплового режимов тяжелых почвогрунтов с целью повышения плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур.

Технология устройства аэрационного дренажа должна призвана для обеспечения эффективности и долговечности его работы. Но до настоящего времени такой дренаж применялся и изучался лишь в зоне осушения в качестве кротового дренажа, т.е. для отвода излишних вод. Влияние его на почвенные процессы в аридной зоне пока не исследовано, хотя важность проведение таких исследований диктуется насущными потребностями сельскохозяйственного производства.

Моделирование работы дренажа свидетельствует о том, что интенсивность поступления воды в дренаж определяется коэффициентом фильтрации и водоотдачи надренного слоя грунта, из которого происходит сброс гравитационной воды. Кроме того, рабочие органы, применяемые для нарезки дренажей, имеют большие тяговые усилия, в результате образования пластично-упругих деформаций грунта в нижней части ножа. В этой зоне грунт, вытесняемый рабочим органом, вдавливаются в боковые стенки

щели, не разрушая его к дневной поверхности. Критическая глубина резания рабочими органами данных типов определяет значительные тяговые усилия базовых машин. Поэтому нарезка аэрационного дренажа в зоне орошаемого земледелия не нашла широкого применения.

Конструкции кротовых дренажей представляют собой полость с надренной щелью. Щель и уплотненная стенка кротовин являются основным недостатком данных конструкций, т.к. происходит разрушение структуры грунта околодренной зоны. При водонасыщении грунт начинает набухать, препятствуя притоку воды к дренажу, а вода, поступающая через щель, приводит к размыву и разрушению свода дренажа.

Предметом нашего исследования явилась разработка новой технологии эффективного аэрационного дренажа, как одного из основных и доминирующих агрономических приемов улучшения состояния тяжелых почв на хлопковых полях Туркменистана. Технология нарезки аэрационного дренажа разработана с учетом грунтовых условий и биологических требований к развитию корневой системы хлопчатника, которая основана на разрыхлении подпахотных слоев и нарезке в монолите грунта перпендикулярно основному дренажу водоаккумулирующих кротовых спаренных дренажей на глубину 500–600 мм и на расстоянии 600–900 мм.

Опыты, проведенные на опытных участках совхозов «Ак-Алтын», «Целинный» и имени Магтымгулы Каракумского района Марыйской области показали, что на хлопковых полях оптимальная глубина нарезки аэрационного дренажа составляет 0,6 м. При близком заложении до 0,4 м происходила значительная деформация кротовин, т.к. они формировались практически в зоне объемного рыхления грунта. При заложении аэрацион-

ного дренажа на глубине 0,7–0,9 м более сильного влияния на водно-воздушный и солевой режимы практически не наблюдалось. При увеличении глубины нарезки до 0,9 м возрастали тяговые усилия, кроме того, эффективность аэрационного дренажа в данном случае сильно снизилась из-за увеличения удельных энергетических затрат.

Установлено, что при нарезка аэрационного дренажа в аридной зоне позволяет улучшить водно-воздушный режим почвы за счет перераспределения влаги ниже лежащие подпахотные горизонты и ее аккумуляции в грунтовом массиве 0–60 см по глубине. При этом значительно улучшается экологическая обстановка, сокращается поливная и промывная норма до 30%, предо-

твращаются повышения уровня грунтовых вод и процесс засоления. Для осуществлений нарезки аэрационного дренажа разработана конструкции рабочего оборудования НАД-2–60, которая в 1990 году прошла ведомственный приемочный испытания и рекомендована к широкому внедрению в хозяйствах республики [2,3]. Новизна технического решения рабочего оборудования защищена авторским свидетельством [1]. Техничко-экономические расчеты показали, что нарезка аэрационного дренажа позволяет снизить эксплуатационные расходы до 30%, обеспечить оптимальной водно-воздушной режим почвы в аридной зоне и повышает урожайность хлопчатника в среднем 7,4 ц/га [2,3,4].

### Литература

1. А.с. 1751263/СССР/. Устройство для нарезки кротовин /Хоммадов К., Данатаров А. — Москва. 1992. Бюл. №28.
2. Данатаров, А., Байджанов, Г. Мелиоративная и экономическая эффективность аэрационного дренажа. «Молодой ученый» ежемесячный научный журнал. Чита. 2010. №8. с.83–91.
3. Данатаров, А. Об экологической напряженности в аридной зоне. //Тезисы докладов Международной конференции. 16–17 сентября 1993г. Экологические проблемы при орошении и осушении: часть I. — Киев. — с.7–8.
4. Данатаров, А., Сапаров К.Б. Устройство аэрационного дренажа в аридной зоне. Мелиорация и водное хозяйство. Международный научный журнал —Москва. 1994. №2. с. 34–36.
5. Данатаров, А. Роль агромиелоративного оборудования по улучшению экологии Туркменистана Материалы Международной конференции 24–26 ноября 2010. Образование, наука, спорт и туризм в эпоху Великого возрождения. Ашгабат. с. 234–235.

## Рыхлительные агрегаты нового поколения в условиях аридной зоны

Данатаров А., кандидат технических наук, докторант  
Туркменский сельскохозяйственный университет, Ашгабат

*The abovementioned characteristics allow us to determine the pulling pressure of soil cutting in course of change of position of teeth on the ripper blade during layered cutting of soil. It is known that chip loading of soil on subcritical depth is 20–25 % lower than it is at overcritical depth i.e. we may conclude that by using of this effect in blade structure we may lower the pulling pressure as compared with plain blade. We have also arrived at conclusion that following the acute influence of subsurface soil level tillage a much more solid root layer of soil is formed, that in its turn, promotes the increase of harvest of cultivated crops.*

Современное земледелие на такой огромной территории, как страны СНГ, нуждается в различных рабочих органах и орудиях, как для основной, так и для поверхностной обработки почвы [2]. Внедрение интенсивных технологий с использованием энергонасыщенных и тяжелых агрегатов увеличило уплотнение почвогрунтов и ускорило образование почвенной уплотненной подошвы. В числе важнейших показателей плодородия, таких, как глубина пахотного слоя, кислотность почвенной среды, запасы подвижных элементов питания, на первом месте стоит содержание в почве гумуса и свежего органического вещества, его качественное состояние. Для улучшения таких почв применяют рыхлители, щелеватели и кротователи. Применение таких агромиелоративных орудий направленные на ускорение фильтрации поверхностных вод

способствует аккумуляции влаги в почвенном профиле и ускоряет сбор избыточных вод. Из них наиболее широко применяемым методом регулирования водно-физических состояний почв является кротовой дренаж.

Цель исследований заключалась в разработке приемов повышения эффективности орошения за счет глубокого рыхления уплотненных почв с неблагоприятным мелиоративным состоянием, обеспечивающих получение устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Задачу о влиянии рыхления-кротования на увеличение аккумуляющей емкости почвы решаем теоретическим путем, рассматривая неустановившуюся фильтрацию воды в двухслойном грунте. В качестве верхнего слоя рассматриваем разрыхленный грунт вплоть до глубины залегания грунтовых дрен, в второй — грунт ниже кротовых дрен [3].

Аккумуляционной способностью аэрационного дренажа рассматривается исходя из анализа составляющих водного баланса и установившейся фильтрации воды в двухслойной среде. Применительно к тяжелым почвам исходим из следующих предпосылок: минеральные почвы имеют атмосферный тип водного питания; уровень ГВ залегает достаточно глубоко, и влагообмен происходит в 2–3 метровом слое [3]. Одним из основных условий по дренажному стоку является отвод излишка влаги из поверхностного слоя в течение 3 суток, т.е. имеем временный характер, который определяется проводимостью почвы. Продуктивный запас влаги определяется порозностью и объемной массой почвы. Известно, что проведение агрономических приемов значительно повышает данные показатели почвы. При этом заметно увеличивается объем дренажного стока, а увеличение уровня режима под влиянием рыхления-кротования почвы приводит к более благоприятному перераспределению влаги в данной зоне. Изменение проводимости и коэффициента фильтрации по истечению времени практически стабилизируются, по истечению 2–3 год, на глубине 50–60 см после проведения рыхления-кротования. Новизна технического решения рабочего оборудования защищена авторским свидетельством [1]. Раскопки дренажей позволили прийти к выводу, что в почвах с тяжелым механическим составом, основной приток к дренажам происходил через наружные стенки, т.к. коэффициент фильтрации грунта в междренном пространстве был менее чем в монолите. Однако, благодаря наличию двух спаренных кротовин, интенсивность поступления воды в дренажи была значительно больше чем в одиночные дренажи. Следует отметить, что при данной конструкции аэрацион-

ного дренажа количество воды, отводимой дренажем по сравнению с притоком воды непосредственно через щель в дренаж, уменьшилась и практически определялось фильтрационными способностями грунта. Благодаря такой конструкции аэрационного дренажа, схема притока воды к дренажам значительно изменилась, что позволило снизить градиент напора, а следовательно, и предотвратить суффозионный вынос частиц грунта. Установлены зависимости расчета тяговых сопротивлений кротователей, учитывающие конструктивно новые решения нож-стойки и дренажей, позволяющие снизить энергоемкость процесса разрушения грунта на 20–25%. Разработана методика выбора рациональной области использования аэрационного дренажа и оптимизации основных параметров кротователей.

Таким образом, в конструктивном плане рыхление-кротование вполне эффективно как агрономический прием, улучшающий водно-физические свойства почвы на глубине 50–60 см в комбинации с материальным дренажем. Проводимость почвы находится в прямой связи с коэффициентом фильтрации и остаточной разрыхленностью почвы. Известно, что усилие резания грунта на докритической глубине на 20–25% менее чем при критической, т.е. используя данный эффект в конструкции ножа можем снизить тяговое усилие по сравнению со сплошным ножом. Технико-экономические расчеты показали, что нарезка аэрационного дренажа позволяет снизить эксплуатационные расходы до 30%, сократить поливную норму на 15%, обеспечить оптимальной водно-воздушной режим почвы в аридной зоне и повышает урожайность хлопчатника до 7,7 ц/га.

## Литература

1. 1А.с. 1751263 /СССР/. Устройство для нарезки кротовин /Хоммадов К., Данатаров А. — Москва. 1992. Бюл. №28.
2. Борисенко, И. Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы в острозасушливых условиях Нижнего Поволжья. Диссертация доктора технических наук. Волгоград 2006. С. 4–402.
3. Данатаров, А. Аккумуляционная способность воды аэрационного дренажа в аридной зоне. Международный научно-практический журнал № 1. Проблемы освоения пустынь. 1999. — с. 85–89.

## Эффективность нарезчика аэрационного дренажа на тяжелых почвах аридной зоны

Данатаров А., кандидат технических наук

Туркменский сельскохозяйственный университет (Туркменистан)

*Отмечено, для нарезки аэрационного дренажа (АД) и рыхления подпахотного уплотненного слоя теоретически и экспериментально исследованы и разработаны оптимальные параметры АД и глубокорыхлителя. Обоснована технология нарезки АД и рыхления подпахотного слоя глубокорыхлителем; которая позволяет улучшить агротехнические показатели работы орудий при наименьших затратах. При этом значительно улучшается экологическая обстановка, сокращается поливная и промывная норма до 30%, предотвращаются повышения уровня грунтовых вод и процесс засоления. Технико-экономические расчеты показали, что*



нарезка АД позволяет снизить эксплуатационные расходы до 30%, обеспечить оптимальной водно-воздушной режим почвы в аридной зоне и повышает урожайность хлопчатника до 10 ц/га.

Agahan Danatarov  
The Turkmen University of Agriculture

*It is stated that for the process of ploughing by means of aeration drainage and ripping of compacted subsurface layer of soil, optimal parameters of aeration drainage and deep ripper have been duly tested and worked out. Technique of ploughing by means of aeration drainage and ripping of compacted subsurface layer of soil by deep ripper has been justified; which, in its turn, allows to enhance agrotechnical performance of agricultural implements with least expenditure of time and costs. Apart from this, environmental conditions are improved, rates of irrigation and washing of soil are reduced down to 30%, the ground-water level as well as process of salinization of soil are hampered and efficiently thwarted. Technical and economic studies have proved that ploughing of soil by means of aeration drainage promotes reduction of operating costs down to 30%, provides optimal water-air level of soil in arid zone and raises the level of crop capacity of cotton plant up to 10 quintals per hectare.*

**Key words:** Agricultural afforestation machinery – НАД-2–60 in arid zone.

Одним из важнейших требований агротехники хлопчатника является выполнение ежегодной глубокой зяблевой пахоты с изменением фактической ее глубины по годам для уничтожения «плужной подошвы». На почвах с менее глубоким плодородием слоем пахоты на полную глубину его и одновременно проводят мероприятия по углублению пахотного слоя. Глубокая пахота, улучшая водно-воздушный и пищевой режим почвы, создает также благоприятные условия для роста и развития стержневого и боковых корней хлопчатника. Перенесение вспашки на весну сопряжено с ухудшением условий жизни, запозданием в развитии хлопчатника и понижением его урожая.

Одним из отрицательных факторов, который ухудшает водно-физические состояния почв, является уплотнение почв — движителями сельскохозяйственных машин и орудий. Для улучшения таких почв применяют рыхлители, щелеватели и кротователи. Применение таких мелиоративных орудий направленные на ускорение фильтрации поверхностных вод способствует аккумуляции влаги в почвенном профиле и ускоряет сбор избыточных вод. Из них наиболее широко применяемым методом регулирования водно-физических состояний почв является кротовой дренаж. В дренаж и почву поступают и воздух, и тепло, а с воздухом и водой — микрофлора и микрофауна. Происходит оживление биологической деятельности, а также возникает процесс химического выветривания

почвы в присутствии воды, кислорода и углекислоты, что в совокупности повышает плодородие почвы. Дело в том, что после полива в почве над дренажной, главным образом, оседает весь плотный осадок из поливной воды как минеральный, так и органический. Благодаря этому улучшается структура почвы, отводится излишек влаги из сельскохозяйственных угодий, происходит аэрация почв, в результате повышается урожайность культур.

Влияние конструкции аэрационных дренажей (АД) на устойчивость и эффективность работы, для опыты, проведенные на опытных участках совхозов «Ак-Алтын», «Целинный», имени Магтымгулы Каракумского района показали, что на хлопковых полях оптимальная глубина нарезки АД составляет 0,6 м.

Для исследования были выбраны массивы грунта с высокой степенью однородности, прочность  $C = 18 \pm 1$  ударов ударника ДорНИИ; влажность по массе  $\Omega = 21,1\%$  (аргелит); прочность  $C = 4 \pm 1$ ; влажность  $\Omega = 25,9\%$  (лессовидная глина). Данные исследования позволили выявить физику процесса резания грунта рабочими органами.

Конструкции устройства нарезки АД прошли ведомственные приемочные испытания Госагропрома Туркменистана. С 1990—1994г.г. на объектах хлопководческих хозяйств выполнен АД на площади более 90 тыс. га. За истекший период внедрено более 60 кротователей.

При этом значительно улучшается экологическая об-

Таблица

Основные технические характеристики кротователей-рыхлителей

Наименование показателей	РК-1,2	ГРХ-2–50	ПЧС-10–40	НАД-2–60
Базовый трактор	Т-130	Т-4А	К-701	Т-4А
Тип машины	навесная	навесная	навесная	навесная
Глубина рыхления — кротования	60	30–50	40	60
Глубина захвата, см	180	180	384	180
Рабочая скорость, км/ч	2	5–8	6,8–8,3	4–5
Число стоек-ножей, шт	2	2	8–10	2
Масса оборудования, кг	1150	900	1625	600

становка, сокращается поливная и промывная норма до 15%, предотвращаются повышения уровня грунтовых вод и процесс засоления. Для осуществлений нарезки АД разработана конструкции рабочего оборудования НАД-2—60, которая в 1990 году прошли ведомственный приемочный испытания и рекомендована к широкому внедрению в хозяйствах республики.

Для нарезки АД и рыхления подпахотного уплотненного слоя теоретически и экспериментально исследованы

и разработаны оптимальные параметры АД и глубокорыхлителя. Обоснована технология нарезки АД и рыхления подпахотного слоя глубокорыхлителем; которая позволяет улучшить агротехнические показатели работы орудий при наименьших затратах. Техничко-экономические расчеты показали, что нарезка АД позволяет снизить эксплуатационные расходы до 30%, обеспечить оптимальной водно-воздушной режим почвы в аридной зоне и повышает урожайность хлопчатника до 10 ц/га.

## Особенности режущего инструмента с многофункциональным покрытием для резания труднообрабатываемых материалов

Дачева А.В., младший научный сотрудник

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва

*Приведены основные принципы разработки оптимального состава твердого сплава и многофункционального покрытия для резания труднообрабатываемых материалов, а также результаты испытаний разработанных комплексов.*

В современном мире все большее применение находят новые конструкционные материалы с повышенными эксплуатационными свойствами. Это напрямую связано с увеличением требований к характеристикам конечных изделий, будь то авиационный двигатель или протез сустава, находящийся в теле человека. Несомненно, что требования к материалам в данном случае различны. Где-то лимитирующим фактором будет теплостойкость, где-то коррозионная стойкость, а где-то это инертность по отношению к мышечным тканям человеческого тела. Однако и тот, и это материал нужно обработать, прежде чем запустить его на следующий этап жизненного цикла. В большинстве случаев по ряду причин (как технологических, так и экономических) в качестве метода обработки выбирается обработка резанием. В итоге встает задача разработки твердого сплава оптимального состава и многофункционального покрытия для повышения эффективности режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов.

Какие материалы относятся к группе труднообрабатываемых? Это жаропрочные, коррозионностойкие, композиционные, порошковые, полимерных и др. Обработка этих материалов требует совершенствования существующих технологических процессов и создания новых инструментальных материалов. Типичные представители группы труднообрабатываемых материалов (как стали, так и сплавы) приведены в табл. 1, 2. Здесь же представлены характеристики жаропрочности и теплостойкости данных материалов [1].

В качестве протезов часто используют титан и его сплавы, что обусловлено относительной инертностью этих материалов к телу человека. Титан и его сплавы обычно относят к материалам, имеющим плохую обрабатываемость. Твердость титановых сплавов может изменяться в широком диапазоне (НВ 1800—4000 МПа) [2].

Под влиянием теплофизических характеристик скорости резания при обработке титановых сплавов должны быть уменьшены примерно в 5 раз по сравнению с конс-

Таблица 1

Свойства некоторых жаропрочных сталей и сплавов

Марка	Кратковременная прочность, МПа			Длительная прочность, МПа	
	600°C	700°C	800°C	600°C	700°C
08X18H10T	350	300	250	250	120
08X18H12Б	380	330	280	280	150
1X14H18B2БP	450	420	—	350	240
1X14H18B2Б	450	380	—	350	240
ХН77ТЮ	880	680	550	580	360
ХН77ТЮP	950	850	560	680	420
ХН70ВМТЮ	990	900	750	—	500

Таблица 2

## Некоторые металлы, применяемые в твердых сплавах

Металл	Группа	Порядковый номер	Атомный вес	$T_{пл}, ^\circ C$	Удельный вес, г/см
Хром Cr	VI	24	51,99	1890	7,19
Молибден Mo	VI	42	95,94	$2622 \pm 10$	10,3
Ванадий V	V	23	50,95	1720	5,8
Рений Re	VII	75	186,207	$3180 \pm 20$	21,03

трукционными сталями. Отсутствие нароста и застойных явлений играет и отрицательную роль. Она проявляется в неблагоприятной схеме износа режущего лезвия — в деформации и округлении режущей кромки, в уменьшении действительного переднего угла и, в конечном счете, в разрушении режущего лезвия. Зачастую разрушение начинается с вершины инструмента. Термическая обработка является одним из эффективных способов улучшения обрабатываемости резанием труднообрабатываемых материалов, в частности, титановых сплавов [2]. Вместе с тем при термической обработке изменяется структура сплава, возможно снижение эксплуатационных характеристик, что недопустимо в ответственных узлах и механизмах. Данный способ повышения обрабатываемости не универсален, применим в неотчетственных деталях, где изменение структуры не окажет воздействия на весь узел в целом.

Процесс резания представляет собой комплекс чрезвычайно сложных явлений, зависящих от физико-механических свойств обрабатываемого материала, качества режущего инструмента, условий резания, состояния станка, жесткости технологической системы. При резании труднообрабатываемых материалов основной негативный фактор — это высокая температура в зоне резания, которая приводит к разупрочнению стандартных твердых сплавов, что приводит к снижению стойкости режущего инструмента и вынужденному снижению скорости резания. Понижение скорости резания влечет за собой увеличение времени обработки, что сказывается на производительности и себестоимости обработки в целом. Таким образом, твердый сплав оказывает огромное влияние на процесс резания труднообрабатываемых материалов.

В настоящее время примерно 400 фирм в мире производят твердые сплавы. Менее 30 из них мощные современные с объемом производства не менее 150 — 200 т/год производят субмикронные твердые сплавы, различные по составу. Это Kermametal Inc. (США), Krupp Widia GmbH, Hertel Kermametal AG (Германия), Sandvik Coromant (Швеция), Tizit AG (Австрия), Extra-met (Швейцария). У каждой из перечисленных компаний до сих пор стоит вопрос разработки оптимальных твердых сплавов для труднообрабатываемых материалов, ведутся поисковые работы, проводятся исследования.

В России к этому классу сплавов относятся твердые сплавы мелкозернистые (марки ВКЗ-М, ВК6-М, ВК10-

М), особомелкозернистые (марки ВК6-ОМ, ВК10-ОМ, ВК10-ХОМ, ВК15-ХОМ) [3].

Одним из перспективных направлений в разработке твердых сплавов для обработки труднообрабатываемых является использование высокопрочных связок повышенной теплостойкости, содержащих, кроме кобальта, тугоплавкие металлы, не взаимодействующие с углеродом с образованием устойчивых карбидов. И конечно многофункциональное наноструктурированное покрытие особого состава, выступающее в качестве промежуточной среды между обрабатываемым и инструментальным материалами, и обладающее комплексом свойств для выполнения основных своих функций [4].

Повышения теплостойкости связки твердого сплава можно добиться легированием стандартной связки тугоплавким металлом. В случае использования твердого сплава WC-Co есть определенные требования к легирующему элементу. В качестве легирующего элемента, наиболее подходящего по требованиям, взят рений (Re). В табл. 2 показаны основные свойства данного элемента.

Рений обладает рядом уникальных свойств:

- высокая температура плавления и рекристаллизации;
- высокий модуль упругости;
- не образует устойчивых карбидов;
- взаимодействует с кобальтом с образованием непрерывного ряда твердых растворов.

Также рений обладает очень хорошими технологическими свойствами. При производстве твердых сплавов большое значение имеет его способность непосредственно не реагировать с азотом и водородом [6].

В результате исследований был получен сплав группы ВРК: ВРК-15 и ВРК-13, разработанный специально под нанесение износостойкого покрытия специального состава, что в комплексе увеличивает основные характеристики режущего инструмента.

В мировой практике производства режущего инструмента разрабатываются составы износостойких покрытий на основе композиционно-многослойного принципа [5]. Данный сплав ВРК-13 используется в качестве основы для нанесения на него наноструктурированного износостойкого покрытия. При разработке комбинации и состава слоев покрытия пользовались следующими положениями [5]:

Слой, непосредственно примыкающий к инструментальному материалу, должен обеспечивать прочную связь

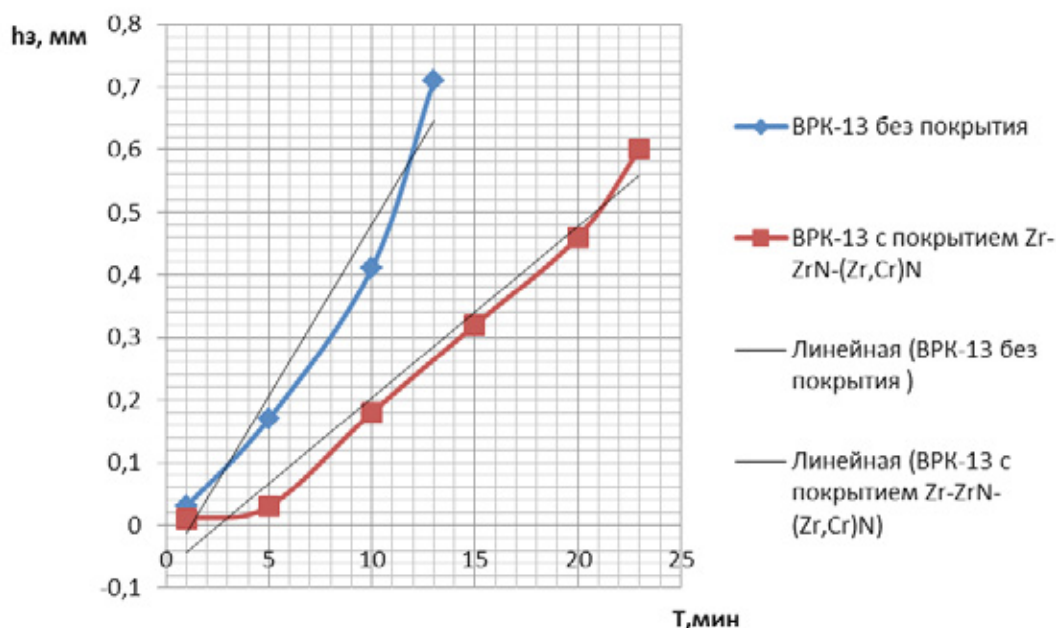


Рис. 1. График зависимости износа по задней поверхности  $h_z$  от времени резания  $T$  пластин из твердого сплава ВРК-13 без покрытия и с наноструктурированным покрытием  $Zr-ZrN-(Zr,Cr)N$

покрытия с рабочими поверхностями инструмента. Поэтому кристаллохимическое строение этого слоя и инструментального материала должно быть идентично, в этом случае обеспечивается хорошая адгезия покрытия и инструментального материала.

Слой, непосредственно контактирующий с обрабатываемым материалом, должен максимально отличаться по кристаллохимическому строению от соответствующего строения обрабатываемого материала.

Слои, находящиеся между перечисленными выше, обеспечивают адгезионную связь этих слоев. Кроме этого эти промежуточные слои могут обладать барьерными функциями, т.е., например, увеличивать или снижать термодинамическую устойчивость покрытия или его теплопроводность.

За основу износостойкого комплекса взят твердый сплав ВРК-13 ввиду более высокой прочности при изгибе по сравнению со сплавом ВРК-15. На этот субстрат был нанесен слой покрытия  $Zr-ZrN-(Zr,Cr)N$  методом КИБ.

На рис. 1 приводятся результаты испытания режущих свойств твердых сплавов (пластины SNUN-120412) при точении стали 50Г. Основные режимы обработки: скорость резания  $V=180$  м/мин, глубина резания  $t=0,5$  мм, подача  $S=0,15$  мм/об.

По результатам испытаний можно сделать вывод: лучший результат при точении жаропрочных сплавов обеспечивали резцы, оснащенные пластинами ВРК-13 с композиционно-многослойным покрытием  $Zr-ZrN-(Zr,Cr)N$ , которые в 2 раза превосходили стойкость контрольных пластин ВРК-13 без покрытия.

## Литература

1. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
2. Кривоухов В.А., Чубаров А.Д. Обработка резанием титановых сплавов — М.:
3. Машиностроение, 1970. — 180 с.
4. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учеб. для техн. вузов. — М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. — 448 с.
5. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойким покрытием — М.; Машиностроение, 1993. С.368.
6. Верещака А.С. Некоторые методологические принципы создания функциональных покрытий для режущих инструментов. В кн. «Современные технологии в машиностроении», — Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. С. 210–231.
7. Исследование структуры и свойств твердых сплавов на основе карбида вольфрама со связкой, содержащей рений, испытания сплавов в производственных условиях (Отчет), тема №19–76–044, ВНИИТС, Чапорова И.Н., Кудрявцева Н.А., Москва, 1979.

## Использование интеллектуальных систем для управления гостиничными комплексами

Демури В.Б., аспирант

Анапский филиал Московского государственного гуманитарного университета

*В статье рассматриваются современные подходы к решению проблемы автоматизации управления современными зданиями, определяется перспективное направление разработки интеллектуальных систем, основанное на решении проблемы принятия многокритериальных управленческих решений в информационной системе гостиничного комплекса в условиях неопределенности и нечеткости исходных данных.*

Внедрение многофункциональной системы управления производством, организацией либо процессом дает большие преимущества в организации управления, увеличивает быстроту реакции на изменения внешней среды, повышает качество обслуживания. По данным независимых агентств [4], при правильном внедрении автоматизированной системы управления, можно добиться значимых результатов:

- снижение операционных и управленческих затрат 15%;
- экономия оборотных средств 2%;
- уменьшение цикла реализации 25%;
- снижение коммерческих затрат 35%;
- снижение страхового уровня складских запасов 20%;
- уменьшение дебиторской задолженности 12%;
- увеличение оборачиваемости средств в расчетах 25%;
- увеличение оборачиваемости материальных запасов 30%;
- улучшение утилизации основных фондов 30%.

Проблема автоматизации управления современными зданиями решается многими зарубежными и российскими учеными. Разрабатываемая автоматизированная система управления зданием (АСУЗ) должна соответствовать как международным стандартам организации ISO в рамках стандарта ISO 16484, так и отечественным стандартам АВОК, разработанным комитетом НП «АВОК» «Интеллектуальные здания и информационно-управляющие системы».

Многие компании-разработчики интеллектуальных зданий и автоматизированных систем управления, как в России, так и за рубежом, часто выдают обычную автоматизацию процессов управления инженерными системами здания за элементы интеллектуальной системы. Таким образом, существует необходимость в соотношении понятий автоматизированная система управления зданием и интеллектуальная система.

Целью данной статьи является анализ современных подходов к решению проблемы автоматизации управления зданиями и определение перспективного направления разработки интеллектуальных систем управления гостиничным комплексом.

Термин интеллектуальное здание (intelligent building) появился в восьмидесятих годах с началом эпохи автоматизации основных коммунальных систем. При создании первых систем основным требованием было распозна-

вание критических ситуаций в коммунальных системах, которые могут возникнуть в здании и автоматическое управление процессом их устранения. При этом основная система могла управлять подсистемами в соответствии с определенным функционалом.

Современное интеллектуальное здание — это комплекс инженерно-технических решений, которые направлены на создание высокоэффективной системы управления, которая обеспечивала бы максимальный комфорт и экономическую выгоду её владельцам.

Для обозначения системы управления зданием используют два англоязычных термина: Building Management System (BMS) или Building Automation and Control System (BACS). Согласно требованиям стандартов [3,5] здание должно быть спроектировано так, чтобы все его подсистемы управления могли интегрироваться друг с другом с минимальными затратами, а их обслуживание было бы эффективно с точки зрения организации управления. Проектирование подобных систем должно предполагать возможность масштабирования и видоизменения подсистем, установленных в интеллектуальном здании в большом количестве. В общем случае в состав комплекса интеллектуального здания должны входить:

- подсистема безопасности (с контролем доступа и наблюдением);
- подсистема пожаротушения;
- подсистема связи;
- подсистема освещения;
- подсистема энергоснабжения;
- подсистема микроклимата;
- подсистема просмотра передач (радио, домашний кинотеатр, эфирное и спутниковое телевидение);
- подсистема обеспечения (водой, газом и т.д.);
- структурированная кабельная подсистема (СКС).

Для координации работы подсистем комплекса интеллектуального здания и обслуживающего персонала используют объединяющую систему управления (систему поддержки принятия решений при управлении). Достигается это за счет интеграции в единую информационно-управляющую инфраструктуру основных подсистем здания и их взаимодействия на базе единой среды передачи данных, организованной по принципу СКС (Рис. 1).

В интеллектуальном здании может быть 50 и более разнородных подсистем жизнеобеспечения. Каждая из этих подсистем поставляется производителем, как пра-



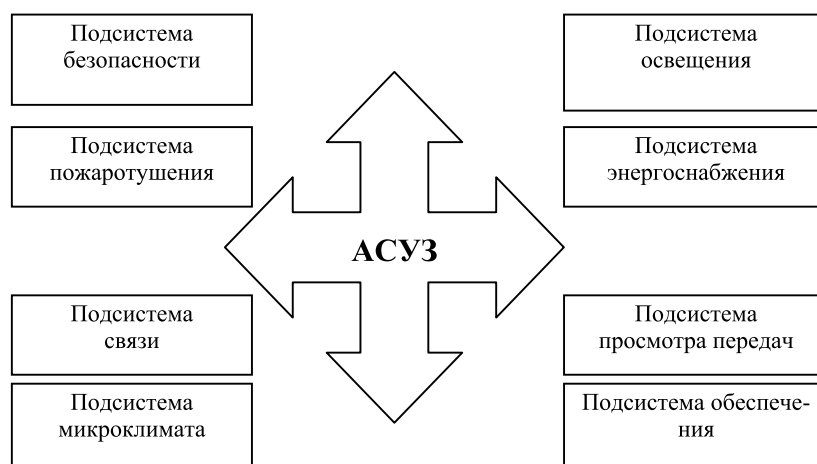


Рис. 1. Единая информационно-управляющая инфраструктура комплекса интеллектуального здания

вило, в виде законченного решения с автономной системой диагностики критических ситуаций и управления взаимосвязанным комплектом оборудования. При чем для различных подсистем можно использовать оборудование и программное обеспечение разных разработчиков. Состав таких подсистем и определяет уровень «интеллектуализации» здания.

Автоматизированная система управления зданием, которую в России называют еще системой автоматизации и диспетчеризации инженерного оборудования, осуществляет сбор, хранение и анализ данных от различных подсистем здания, а также управление работой этих подсистем через сетевые интеллектуальные контроллеры (процессоры) (Рис.2).

На основе собранных данных интеллектуальные контроллеры автономно управляют событиями в штатных или нештатных ситуациях через формализованные команды в

рамках заложенных в них алгоритмов. При таком подходе оперативно принимаются решения в случае аварийных и нештатных ситуациях (пожар, затопление, утечка воды, газа, несанкционированный доступ), что обеспечивает своевременную реакцию на аварийную ситуацию. Также при этом обеспечивается оперативное получение объективной информации о состоянии всех подсистем здания и их функционировании. Они позволяют повысить эффективность управления инженерным оборудованием и сократить затраты на использование энергоресурсов, потребляемых зданием (горячей и холодной воды, тепла, электроэнергии и т.д.).

Самым известным и дорогим на сегодня (\$100 млн.) интеллектуальным зданием стал дом в США (Редмонд) Билла Гейтса. Это многоэтажная вилла, оснащенная самым современным оборудованием. В здании осуществляется компьютерный контроль и управление всем инженерным оборудованием, поддерживается оптимальный

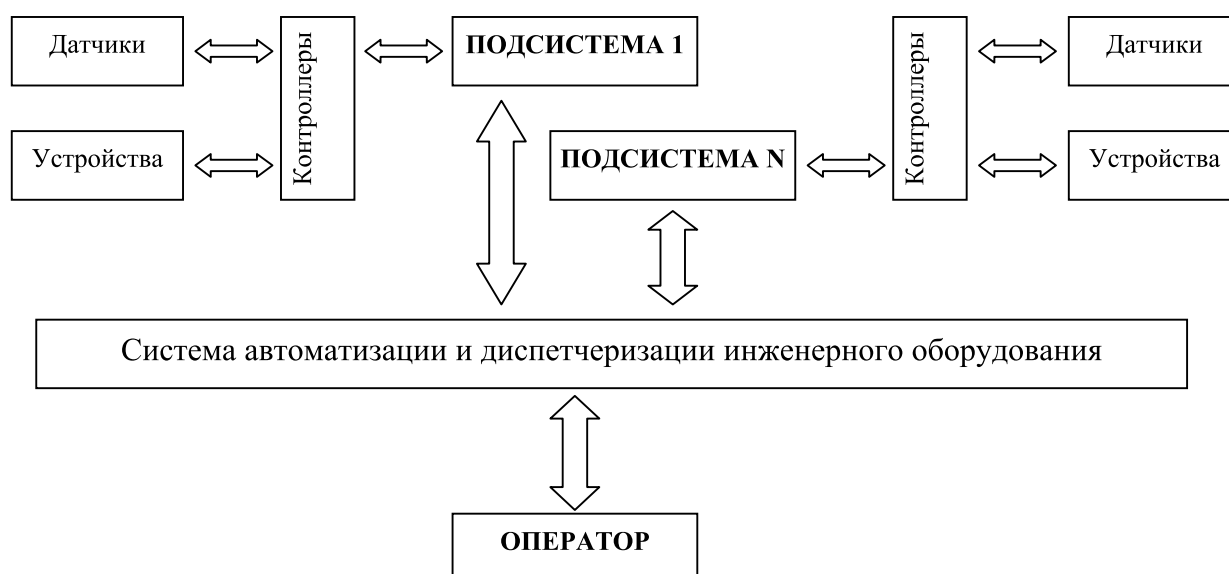


Рис. 2. Упрощенная структура АСУЗ (BMS)



Таблица 1

## Компании-производители оборудования для АСУЗ

Название	Страна	Производимое оборудование
ECHELON Corp	США	LON-адаптеры, модули ввода/вывода, сетевое оборудование (роутеры, WEB-сервера, терминаторы), программные средства интеграции и разработки (LonMaker, NodeBuilder)
DISTECH Controls Inc.	Канада	LonWorks контроллеры, термостаты и дисплеи для управления системой вентиляции, LonWorks приводы и клапаны, беспроводные решения, ПО для создания Lon-сетей LonWatcher и визуализации LonDisplay, LonWorks-оборудование для управления системами освещения
Gesytec GmbH	Германия	LON-интерфейсы (PCI, USB), модули ввода/вывода, продукты серии Gipsy, сетевое оборудование (роутеры, репитеры, терминаторы, источники питания), OPC-сервера
Elka Elektronik GmbH	Германия	Выключатели, датчики движения, термостаты, панели управления (дизайны Berker, Gira, Jung) с интерфейсом LonWorks, модули ввода/вывода LonWorks, диммера LonWorks, датчики и приводы
Creston	США	Оборудования для аудио/видео распределения, домашней автоматизации
Dynacord	Германия	Системы звукоусиления разных мощностей: для клубов, театров, открытых площадок, крытых спортивных арен и проч., усилители мощности и микшерные пульта, системы оповещения и управления эвакуацией
Industrie Technik	Италия	Клапаны (2-х и 3-х ходовые, резьбовые и фланцевые, клапаны-бабочка), датчики (температуры, протока, влажности, комнатные термостаты, термостаты защиты от замораживания, преобразователи давления и реле перепада давления, датчики качества воздуха)
Newron System	Франция	Программные продукты для сетей LonWorks — диагностика, конфигурирование, OPC-сервера, утилиты

микроклимат в каждом помещении. При входе в жилище каждый посетитель получает специальный электронный значок, который обеспечивает подключение ко всем информационным службам дома. В дальнейшем этот значок сообщает датчикам, где находится гость, для того, чтобы дом смог выполнить все его пожелания. В темное время суток каждого сопровождает движущаяся световая волна, при этом, чем дальше светильник находится от человека, тем меньше его яркость [2].

Производителями КСС являются компании: RiT, Panduit, ADC Krone, Brand Rex, NordCDT, CommScope, AMP/Tyco, Nexans, Siemon, Ortronics и др. Информация о некоторых производителях оборудования и программного обеспечения для АСУЗ представлена в таблице 1.

Предлагаемая российской компанией «Специальные решения и системы» интеллектуальная система управления «КОМФОРТНЫЙ ДОМ» объединяет в единый аппаратно-программный комплекс все оборудование, решающее задачи обеспечения физической и информационной безопасности, жизнеобеспечения, развлечений, связи и управления.

Характеризуя систему как интеллектуальную, надо, прежде всего, представлять, чем она отличается от обычной системы автоматизации. При этом от установки, например, интеллектуальных контроллеров системы безопасности здание интеллектуальным не станет. Даже если есть диспетчерский пульт подсистемы безопасности,

и, например, при проходе человека через турникет с использованием индивидуальной электронной карточки у оператора на экране появляется его фотография или камеры реагируют на открытие окна — можно утверждать, что элемент системы интеллектуального здания присутствует, а связи его с другими системами здания нет. То же самое касается и отдельно автоматизированных подсистем освещения, кондиционирования, отопления и т. д.

Существует три подхода к определению понятия искусственный интеллект [1], носящие практическую направленность: по выполняемым функциям, по механизмам работы, по отраслям знаний. Для первого подхода искусственный интеллект — это область исследований, в рамках которой разрабатываются модели и методы решения задач, традиционно считавшихся интеллектуальными и не поддающимися формализации и автоматизации.

Интеллектуальной может считаться такая искусственно созданная система, для которой выполняется тест Тьюринга (Рис.3): «Испытатель через посредника общается с невидимым для него собеседником — человеком или системой. Интеллектуальной может считаться та система, которую испытатель в процессе такого общения не может отличить от человека».

При втором подходе: искусственный интеллект — это область, в которой изучаются системы, строящие результирующий вывод для задач с неизвестным алгоритмом решения на основе неформализованной исходной ин-

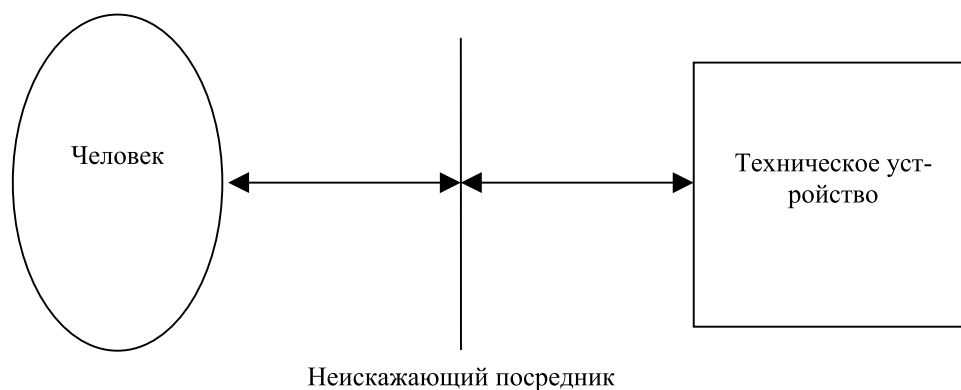


Рис. 3. Схема проведения теста Тьюринга

формации, использующие технологии символьного программирования и средства вычислительной техники со специальной архитектурой.

Наиболее часто используют третий подход: искусственный интеллект — это область знаний, которая находит применение при решении задач, связанных с обработкой информации на естественном языке, автоматизацией программирования, управлением роботами, машинным зрением, автоматическим доказательством теорем, разумными машинами извлечения информации и т.д. Все существующие интеллектуальные информационные системы могут быть разделены на две группы:

1. Системы общего назначения, к которым относятся: экспертные системы, интеллектуальные пакеты прикладных программ и нейросистемы.

2. Специализированные системы, к которым относятся: робототехнические системы, системы распознавания, системы обработки текстов, машинного перевода и т.д.

Таким образом, чтобы АСУЗ являлась интеллектуальной необходимо наличие характеристик, присущих искусственному интеллекту: использование моделей и методов решения задач, не поддающихся формализации и автоматизации.

Внедрение комплексной системы автоматизации и диспетчеризации здания в сравнении с автономными инже-

нерно-техническими системами имеет огромное экономическое и техническое преимущество. Например, только за счет применения энергосберегающего оборудования и интеллектуальных систем управления инженерией ежегодные коммунальные платежи снижаются на 15–30%.

Интеллектуальная система управления гостиничным комплексом характеризуется концентрацией большого количества подсистем на ограниченной территории. Для гостиничного номера необходимо создание различных сценариев света, климатических решений, движущихся элементов (шторы, микролифты и др.), аудио-видео возможностей, соответствующих настроению, и максимальной доступности различных информационных источников. Современная гостиница — это, также комплекс помещений общего пользования (холлы, рестораны, бары), дизайн света, климат, музыкальное и видеоформирование которых имеют огромное значение для комфорта гостей. Оператору автоматизированной системы управления гостиничным комплексом, приходится принимать решения в условиях недостаточности информации. Для решения задачи поддержки принятия управленческих решения оператором в условиях неопределенности перспективным направлением, на наш взгляд, является использование методов нечеткой математики, а также концепции многокритериальной оптимизации.

### Литература:

1. Бершейн Л.С., Боженик А.В. Нечеткие модели принятия решений: дедукция, индукция, аналогия. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. 110с.
2. Самые «умные» здания мира // [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://www.vashdom.ru/articles/intelkey\\_5.htm](http://www.vashdom.ru/articles/intelkey_5.htm).
3. Стандарт АВОК. Системы автоматизации и управления зданиями. В 3-х частях. — М.: АВОК-ПРЕСС.
4. Эффективность внедрения ERP системы // [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://citforum.ru/consulting/ERP/atk\\_tco.shtml](http://citforum.ru/consulting/ERP/atk_tco.shtml).
5. TIA/EIA-862 Building Automation Systems Cabling Standard for Commercial Buildings.

## Анализатор сигналов инфракрасного пульта дистанционного управления

Жирнова Л.В., магистрант; Мошкин В.В., кандидат технических наук, доцент

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)

Инфракрасные системы дистанционного управления (ДУ) широко применяются в различных электронных приборах: аудио- и видеотехника, климатические системы, системы освещения и т.д. Их принцип действия основан на передаче команд управления с помощью модулированного потока инфракрасного излучения от пульта управления к приемному модулю.

При создании нового устройства с дистанционным управлением можно использовать имеющиеся на рынке готовые приемо-передающие модули, комплекты микросхем для их изготовления или заняться разработкой собственной системы.

В тех случаях, когда устройство разрабатывается на основе микроконтроллера, можно использовать имеющийся в наличии готовый пульт, например, от телевизора, а приемную часть реализовать на том же микроконтроллере, подключив к нему фотоприемник. Такой подход позволяет получить желаемый результат с минимальными затратами средств и времени. Для разработки программы декодирования сигналов ДУ необходимо знать протокол передачи данных используемого пульта.

Пульт дистанционного управления при нажатии кнопки формирует кодовую последовательность, которой модулируется световой поток, излучаемый инфракрасным светодиодом. На практике в пультах ДУ используются три вида модуляции [1] (таблица 1).

Посылаемый пультом пакет световых импульсов состоит из заголовка и информационного поля. Заголовок, как правило, представляет собой импульс. Его длительность импульса и следующей за ним паузы поз-

воляют определить тип используемого протокола. Информационное поле содержит биты адреса и команды. Число битов адреса и команды, а также порядок их размещения в информационном поле зависит от типа протокола. Адрес, формируемый пультом, всегда постоянный и не зависит от нажатой кнопки. Устройства разного типа, как правило, имеют отличающиеся адреса, что позволяет исключить одновременное их срабатывание от одного пульта при одинаковом протоколе обмена. Код команды наоборот определяет нажатую кнопку и для разных устройств может быть одинаковым. Таким образом, несовместимость пультов управления от разных устройств может быть обусловлена либо отличием протоколов, либо отличием адресов при одинаковых протоколах. В таблице 2 приведены структуры информационных полей некоторых протоколов систем дистанционного управления [1, 2].

В том случае, если кнопка пульта нажата и удерживается, вслед за основным пакетом передается последовательность повтора (рис.1), которая может представлять собой:

- повторение основного пакета;
- только заголовок основного пакета с измененной длительностью паузы;
- информационное поле (или только команда) основного пакета без заголовка.

Временные параметры указанных выше протоколов приведены в таблице 3.

Для идентификации типа используемого протокола и определения кодов адреса и команд разработан анали-

Таблица 1

Виды модуляции в пультах ДУ

Вид модуляции	Вид сигнала
1. Двухфазное кодирование (ДФК). Наличие фронта импульса в середине интервала передачи бита соответствует логической единице, а наличие среза импульса — логическому нулю.	
2. Модуляция длительностью пауз (МДП). Длительность импульсов постоянная. Паузы большей длительности соответствует логической единице, меньшей длительности — логическому нулю.	
3. Модуляция длительностью импульса (МДИ). Длительность пауз постоянная. Импульсы большей длительности соответствуют логической единице, а меньшей длительности — логическому нулю.	

Таблица 2

## Структуры информационных полей протоколов ДУ

Протокол, компания	Тип модуляции	Структура информационного поля																													
NEC, standart	МДП	<table><tr><td>A0</td><td>...</td><td>A7</td><td><math>\overline{A0}</math></td><td>...</td><td><math>\overline{A7}</math></td><td>C0</td><td>...</td><td>C7</td><td><math>\overline{C0}</math></td><td>...</td><td><math>\overline{C7}</math></td></tr><tr><td colspan="6">адрес</td><td colspan="6">команда</td></tr></table>	A0	...	A7	$\overline{A0}$	...	$\overline{A7}$	C0	...	C7	$\overline{C0}$	...	$\overline{C7}$	адрес						команда										
A0	...	A7	$\overline{A0}$	...	$\overline{A7}$	C0	...	C7	$\overline{C0}$	...	$\overline{C7}$																				
адрес						команда																									
NEC, extended	МДП	<table><tr><td>A0</td><td>...</td><td>A7</td><td>A8</td><td>...</td><td>A16</td><td>C0</td><td>...</td><td>C7</td><td><math>\overline{C0}</math></td><td>...</td><td><math>\overline{C7}</math></td></tr><tr><td colspan="6">адрес</td><td colspan="6">команда</td></tr></table>	A0	...	A7	A8	...	A16	C0	...	C7	$\overline{C0}$	...	$\overline{C7}$	адрес						команда										
A0	...	A7	A8	...	A16	C0	...	C7	$\overline{C0}$	...	$\overline{C7}$																				
адрес						команда																									
JVC	МДП	<table><tr><td>A0</td><td>...</td><td>A7</td><td>C0</td><td>...</td><td>C7</td></tr><tr><td colspan="3">адрес</td><td colspan="3">команда</td></tr></table>	A0	...	A7	C0	...	C7	адрес			команда																			
A0	...	A7	C0	...	C7																										
адрес			команда																												
SAMSUNG	МДП	<table><tr><td>A0</td><td>...</td><td>A7</td><td>A0</td><td>...</td><td>A7</td><td>C0</td><td>...</td><td>C7</td><td><math>\overline{C0}</math></td><td>...</td><td><math>\overline{C7}</math></td></tr><tr><td colspan="6">адрес</td><td colspan="6">команда</td></tr></table>	A0	...	A7	A0	...	A7	C0	...	C7	$\overline{C0}$	...	$\overline{C7}$	адрес						команда										
A0	...	A7	A0	...	A7	C0	...	C7	$\overline{C0}$	...	$\overline{C7}$																				
адрес						команда																									
SONY	МДИ	<table><tr><td>C0</td><td>...</td><td>C6</td><td>A0</td><td>...</td><td>A4</td></tr><tr><td colspan="3">команда</td><td colspan="3">адрес</td></tr></table>	C0	...	C6	A0	...	A4	команда			адрес																			
C0	...	C6	A0	...	A4																										
команда			адрес																												
RCA	МДП	<table><tr><td>A3</td><td>...</td><td>A0</td><td>C7</td><td>...</td><td>C0</td><td><math>\overline{A3}</math></td><td>...</td><td><math>\overline{A0}</math></td><td><math>\overline{C7}</math></td><td>...</td><td><math>\overline{C0}</math></td></tr><tr><td colspan="2">адрес</td><td colspan="2">команда</td><td colspan="2">адрес</td><td colspan="2">команда</td></tr></table>	A3	...	A0	C7	...	C0	$\overline{A3}$	...	$\overline{A0}$	$\overline{C7}$	...	$\overline{C0}$	адрес		команда		адрес		команда										
A3	...	A0	C7	...	C0	$\overline{A3}$	...	$\overline{A0}$	$\overline{C7}$	...	$\overline{C0}$																				
адрес		команда		адрес		команда																									
PANASONIC	МДП	<table><tr><td>A0</td><td colspan="4">...</td><td>A16</td><td>A0</td><td colspan="4">...</td><td>A16</td><td>C0</td><td>...</td><td>C7</td></tr><tr><td colspan="5">адрес 0</td><td colspan="5">адрес 1</td><td colspan="4">команда</td></tr></table>	A0	...				A16	A0	...				A16	C0	...	C7	адрес 0					адрес 1					команда			
A0	...				A16	A0	...				A16	C0	...	C7																	
адрес 0					адрес 1					команда																					
PHILIPS RC5	ДФК	<table><tr><td>A4</td><td>...</td><td>A0</td><td>C5</td><td>...</td><td>C0</td></tr><tr><td colspan="3">адрес</td><td colspan="3">команда</td></tr></table>	A4	...	A0	C5	...	C0	адрес			команда																			
A4	...	A0	C5	...	C0																										
адрес			команда																												

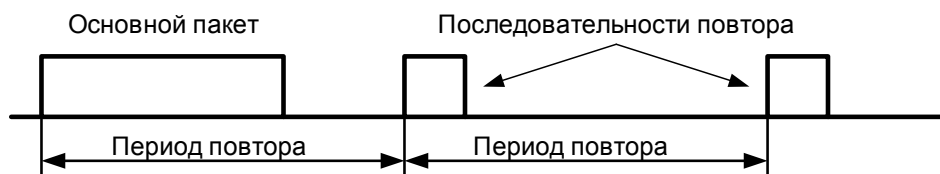


Рис.1. Вид сигнала пульта ДУ при удержании кнопки

Таблица 3

## Временные параметры протоколов ДУ

Протокол, компания	Заголовок		Сигнал лог. 0		Сигнал лог. 1		Последовательность повтора	Период повтора, мс
	Импульс, мс	Пауза, мс	Импульс, мс	Пауза, мс	Импульс, мс	Пауза, мс		
NEC	9,0	4,5	0,56	0,56	0,56	1,6	Только заголовок с паузой 2,25 мс	110
JVC	8,4	4,2	0,53	0,53	0,53	1,6	Пакет без заголовка	50 – 60
SAMSUNG	4,5	4,5	0,65	0,65	0,65	1,5	Заголовок и сигнал лог. 1	100
SONY	2,4	0,6	0,6	0,6	1,2	0,6	Только команда	45
RCA	4,0	4,0	0,5	0,5	0,5	2,0	Пакет целиком	60
PANASONIC	3,6	1,5	0,4	0,4	0,4	1,2	Пакет целиком	70 – 80
PHILIPS RC5	Две лог. 1 и бит управл.		0,89	0,89	0,89	0,89	Пакет целиком	114

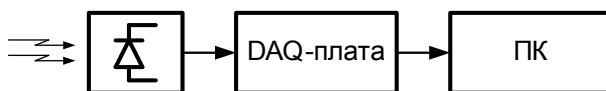


Рис.2. Структурная схема анализатора

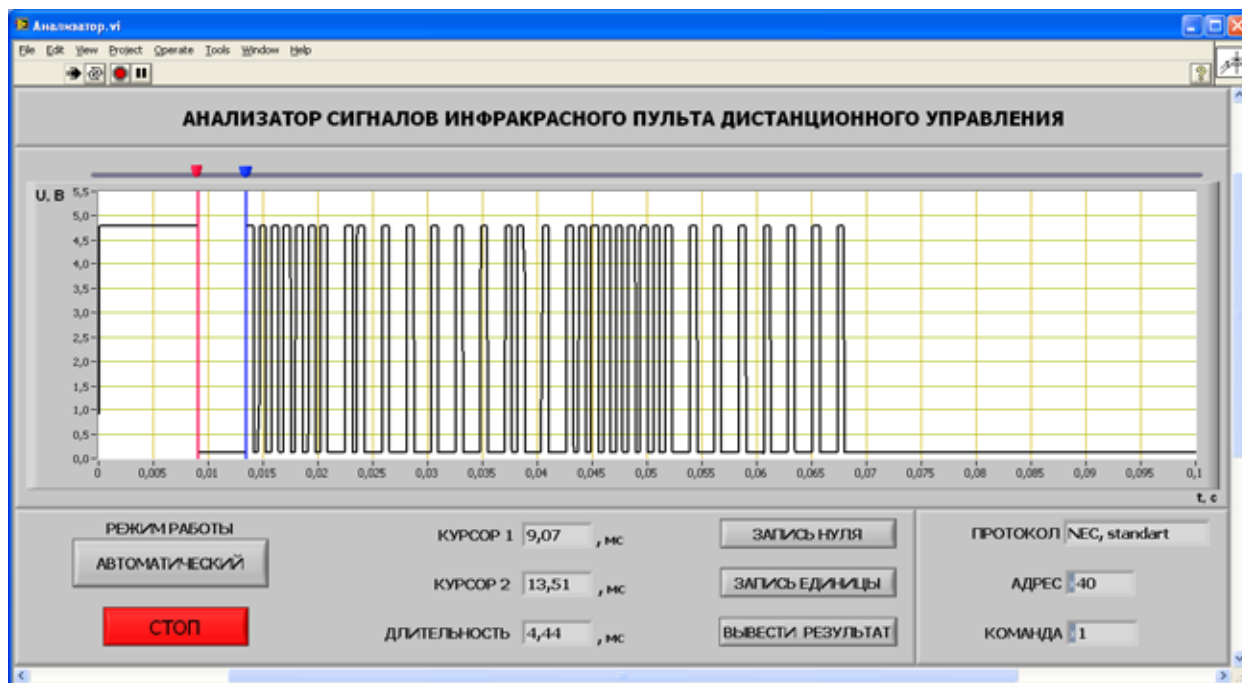


Рис.3. Интерфейс пользователя программного обеспечения анализатора

затор сигналов пульта дистанционного управления. Он представляет собой аппаратно-программное устройство, состоящее из PC-совместимого персонального компьютера, DAQ-платы типа NI PCI-6251 компании National Instruments и интегрального фотоприемника типа BRM-1020 (рис.2).

Оптический сигнал от пульта ДУ, поступает на фотоприемник, в котором преобразуется в последовательность электрических импульсов. Эта последовательность оцифровывается в блоке аналого-цифрового преобразователя DAQ-платы и передается в персональный компьютер.

Программное обеспечение анализатора разработано в среде графического программирования LabVIEW [3]. На рис.3 показан интерфейс пользователя. Изображение импульсной последовательности выводится на графический индикатор для визуального наблюдения. По виду сигнала можно убедиться в работоспособности пульта управления и предварительно оценить тип используемого в нем протокола.

Анализ сигнала, принятого от пульта дистанционного управления, следует проводить в автоматическом режиме работы прибора. По умолчанию после запуска программы кнопка «РЕЖИМ РАБОТЫ» находится в положении «АВТОМАТИЧЕСКИЙ». Если нажать на эту кнопку, то произойдет переход в ручной режим и на ней появится надпись «РУЧНОЙ».

Работа анализатора в автоматическом режиме начинается с измерения длительности импульса и паузы заголовка принятого пакета. Полученные значения сравниваются с табличными величинами этих параметров для известных протоколов. При обнаружении совпадения, в текстовое окно «ПРОТОКОЛ» выводится название протокола, иначе отображается надпись «НЕ ОПРЕДЕЛЕН». Если протокол идентифицирован, производится измерение периодов импульсов информационного поля. В соответствии с табличными значениями длительностей для сигналов логического нуля и логической единицы и структурой информационного поля данного протокола формируются коды адреса и команды, которые выводятся на цифровые индикаторы «АДРЕС» и «КОМАНДА» в шестнадцатеричном формате. Поочередно нажимая все кнопки пульта управления, можно для каждой из них определить код команды.

В том случае, если не удастся автоматически идентифицировать протокол, измерения можно произвести в ручном режиме. Для этого нужно переключить кнопку «РЕЖИМ РАБОТЫ» в положение «РУЧНОЙ». Над экраном графического индикатора расположен регулятор с двумя ползунками красного и синего цвета. С их помощью по экрану графического индикатора можно перемещать вертикальные курсоры (красный и синий). Их положение на горизонтальной оси будет отображаться на цифровых



Таблица 4

## Результаты исследования пультов ДУ

№	Тип и марка устройства	Протокол	Адрес	Разрядность адреса, бит	Код кнопки «1»
1	Телевизор TOSHIBA 32XV635D	NEC, standard	0x40	8	0x01
2	Видеоплеер ICONBIT HD400	NEC, standard	0x10	8	0x11
3	Видеоплеер BBK DV314SI	NEC, extended	0x49	8	0x46
4	ТВ-тюнер BEHOLD TV 409 FM	NEC, extended	0x6B86	16	0x01
5	CD-ROM Creativ Labs Infra 4800	NEC, extended	0xAC21	16	0x90

индикаторах «КУРСОР 1» и «КУРСОР 2». На цифровой индикатор «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» выводится величина временного интервала выделенного курсорами. Таким образом, с помощью курсоров можно измерить длительность импульса и паузы заголовка исследуемого протокола, а также временные интервалы, соответствующие сигналам логического нуля и логической единицы.

Чтобы определить адрес пульта и команду нажатой на нем кнопки, сначала необходимо выделить курсорами временной интервал, соответствующий логическому нулю и нажать кнопку «ЗАПИСЬ НУЛЯ». Затем нужно выделить временной интервал, соответствующий сигналу логической единицы и нажать кнопку «ЗАПИСЬ ЕДИНИЦЫ». После нажатия на кнопку «ВЫВЕСТИ

РЕЗУЛЬТАТ», на цифровых индикаторах будут отображены адрес пульта и команда, соответствующая нажатой на нем кнопки.

В табл.4 приведены параметры сигналов для некоторых пультов ДУ, определенные с помощью анализатора. Полученные результаты показали широкую распространенность протокола NEC.

Таким образом, представленный в работе анализатор сигналов инфракрасного пульта дистанционного управления позволяет определить тип используемого протокола, адрес пульта и команды, соответствующие его кнопкам. Если сигналы пульта не соответствуют ни одному из известных протоколов, с помощью анализатора можно измерить их временные параметры.

**Литература**

1. Data Formats for Remote Control. — [www.vishay.com/docs/80071/dataform.pdf](http://www.vishay.com/docs/80071/dataform.pdf).
2. IR Remote Control Theory. — <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/ir.htm>.
3. Тревис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. 4-е издание, переработанное и дополненное — М.: ДМК Пресс, 2011. — 904 с.

**The heat pump**

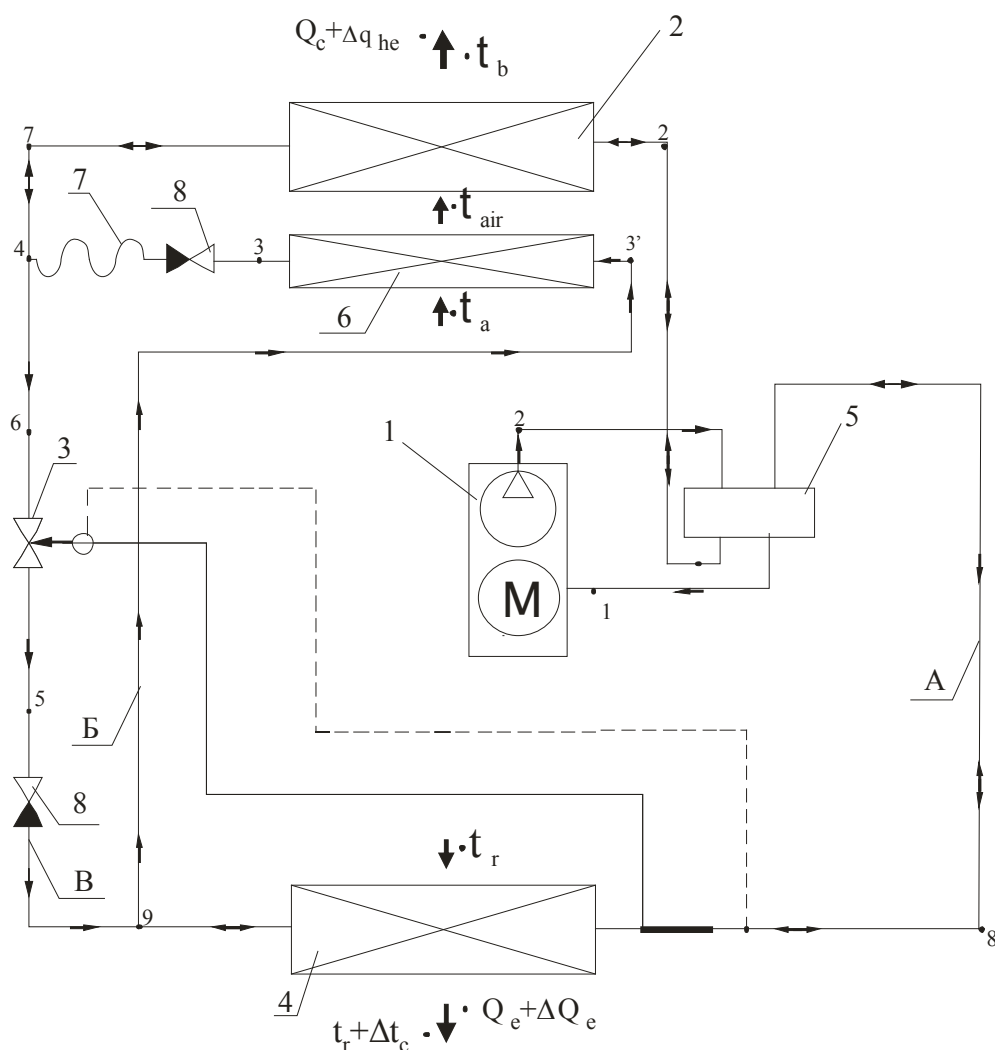
Zipa Alexey, student  
Kuban state technological university

The heat pump — the device for carrying over the thermal energy from thermal energy source (with low temperature) to the consumer (heat-carrier) with more heat. Theoretically heat pump represents a return refrigerator [1, p.287].

The author offers the developed scheme of the heat pump — (Drawing 1):

1 — the compressor, 2 — the condenser, 3 — the expansion valve, 4 — the evaporator, 5 — the electromagnetic switch of operating modes of a refrigerator. The heat exchanger — 6 and a capillary tube — 7 are included into the scheme to increase an overall performance of the heat pump, the return valve — (8).

In the mode “cooling” to set temperature  $t_r$  of a room, the traditional refrigerating cycle is carried out in a refrigeration unit (Drawing 2). The compressor — 1 compresses vapor of the refrigerant from pressure  $P_b$  (a point 1) to  $P_c$  (a point 2). Then vapor of the refrigerant move in the condenser — 2 where there are heat removing from the refrigerant, its cooling and condensation (process 2—7). Leaving the condenser — 2, the liquid refrigerant passes through expansion valve — 3 (process 6 — 5), where its pressure falls from  $P_c$  (a point 6) to  $P_b$  (a point 5). After that the refrigerant advances in the evaporator — 4, boils at temperature  $t_0$  and takes away heat from the room (process 5—1'). Process 1'—1 is a heating of



$Q_c + \Delta q_{he}$  - heat removing from ambient by condenser (evaporator)

$t_b$  - boiling temperature

$t_a$  - ambient temperature

$t_r$  - room temperature

$t_r + \Delta t_c$  - achieved room temperature

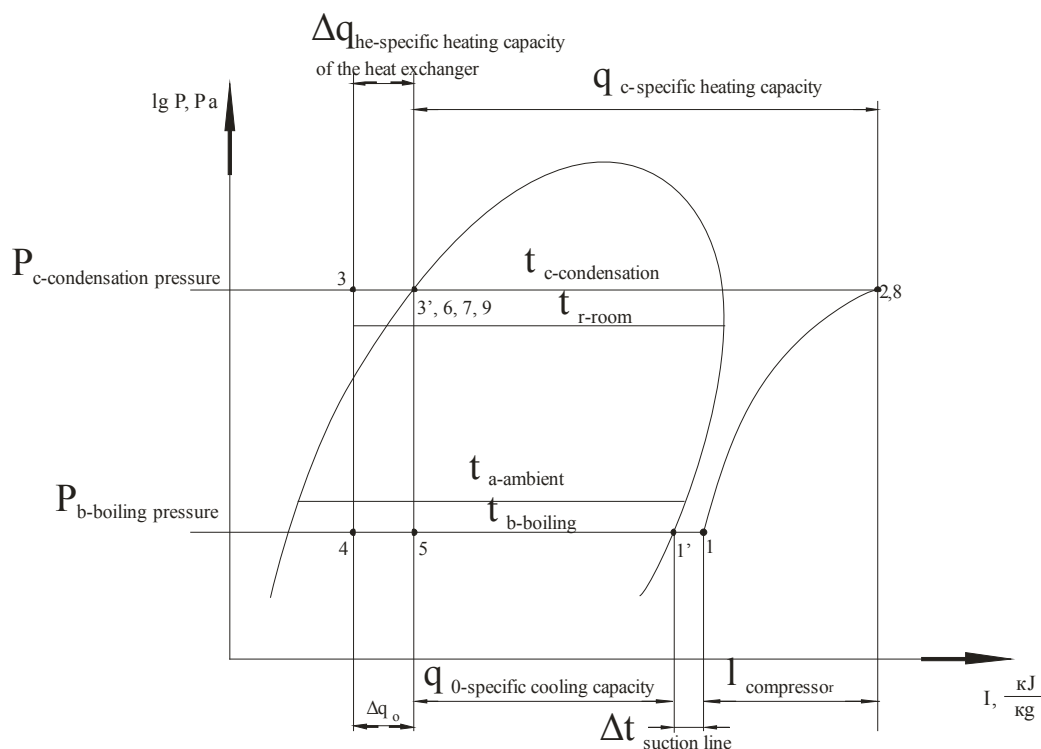
$Q_e + \Delta Q_e$  - heat supplied by evaporator (condenser)

Drawing 1. The cycle of the offered heat pump

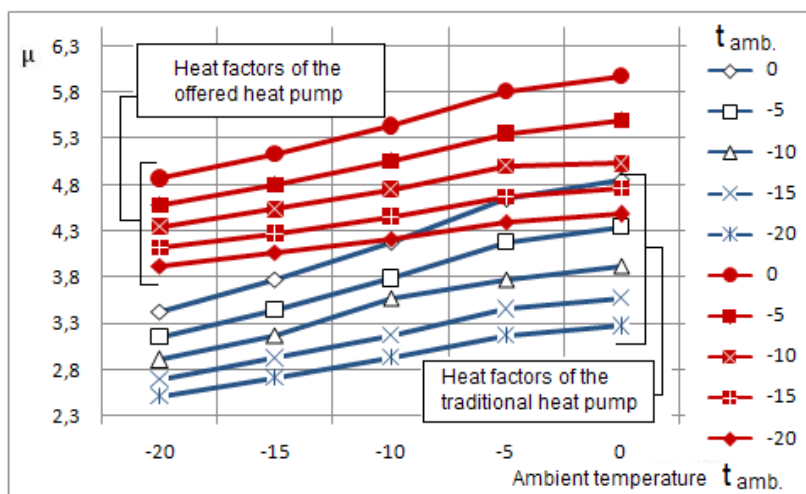
vapor of the refrigerant in the suction line. Further the cycle repeats.

In the mode “heating” to set temperature  $t_r$  of a room, cycle in the refrigeration unit is carried in the opposite direction. The compressor – 1 pumps vapor of the refrigerant through the electromagnetic switch – 5, being in a “winter” operate mode, on line “A” in the evaporator – 4 (which executes of the condenser function), where heat  $Q_e + \Delta Q_e$  transfers (process 8–9, Drawing 1) from the refrigerant to air of a heated room. After a heat supply in a room, the liquid refrigerant advances in pipeline “B”, not arriving in pipeline

C, because of mounted return valve. Passing through the heat exchanger – 6, the liquid refrigerant overcools on value  $\Delta q_{he}$  (process 3–3', Drawing 1,2), lowering pressure from  $P_c$  (a point 3) to pressure  $P_b$  (a point 4), through a capillary tube – 7. Then the liquid refrigerant advances in the condenser – 2 (which executes the function of evaporator), where the boiling of the refrigerant and the heat removing from air take place. The further movement of vapor of the refrigerant through the electromagnetic switch – 5, is carry out in the compressor – 1, and the cycle repeats. In this case, we receive the heat pump.



Drawing 2. The cycle of the offered heat pump



Drawing 3. Year factors of the cycle

Power efficiency of the heat pump is characterized by its heat factor  $\mu$ . It shows the ratio of produced heat ( $Q$ ) to the power spent ( $N$ ) for realization of a cycle:

$$\mu = Q/N$$

Therefore, analyzing a work performance of the refrigeration unit, permanent heat factor inspection is necessary. According to the basic laws of thermodynamics, if the heat factor is more than one ( $\mu > 1$ ) the heat pump will transfer energy in the form of heat in a room  $\mu$  times more, than it is spent power  $N$  [2, p. 510, 3].

Calculation of an operating mode of the developed heat pump was executed for the entry conditions:

- Temperature in warmed room –  $t_r$  = from 18 to 35 °C;
- Ambient temperature –  $t_a$  = from 0 to – 20 °C;
- Capacity of the heat pump –  $Q_o$  = 20 kw;
- The refrigerant – R134a.

**Conclusion:** As a result of researches the increase in heat factor has been received on **11 % – 40 %** (Drawing 3).

The offered scheme of the developed heat pump promotes savings of electric energy on **20 % – 44 %**.

**References:**

1. Bykov A.V. i dr. Holodil'nye mashiny i teplovye nasosy (Povyshenie effektivnosti) [Refrigerators and thermal pumps (efficiency increase)]/ A.V. Bykov, I.M. Kalnin', A.S. Kruze. — M.: Agropromizdat, 1988. [in Russian]
2. Holodil'nye mashiny: Ucheb. dlja vtuzov po special'nosti "Holodil'nye mashiny i ustanovki" [Refrigerators: Studies. For technical colleges on a speciality "Refrigerators and installations"]/ N.N. Koshkin, I.A. Sakun, E.M. Bambushek, i dr.; Pod obshch. red. I.A. Sakuna. — L.: Mashinosroenie, Leningr. otd — nie. — 1985. [in Russian]
3. Martynovskij V.S. Analiz dejstvitel'nyh termodinamicheskikh ciklov [Analysis of the valid thermodynamic cycles]. M., Energija, 1972. [in Russian]

**Анализ и моделирование механического поведения кирпичной кладки, как упруго-хрупкой системы**

Иванов М.Л., аспирант

Ижевский государственный технический университет

Деформации и характер разрушения зданий определяются характером внешних воздействий. В процессе эксплуатации несущие конструкции зданий подвергаются различным внешним воздействиям: силовым, деформационным и тепловым, статическим и динамическим.

Силовые воздействия, в соответствии со строительными нормами и правилами [1], принято подразделять на постоянные (собственный вес конструкций, пола, перекрытий, покрытий) и временные (длительные: вес оборудования, часть снеговой нагрузки, часть временной нагрузки на перекрытия и кратковременные: ветровая, крановая нагрузки). Вид действующей нагрузки при этом учитывается соответствующими коэффициентами. Тепловые воздействия вызывают температурные напряжения и приводят к изменению механических характеристик материалов. Деформационные (или кинематические) воздействия — неравномерные осадки сооружений вызываются, прежде всего, самой природой деформируемости грунтовых оснований под нагрузкой.

Обследование большого количества жилых кирпичных домов постройки конца 50-х и начала 60-х годов в России показало, что многие из них находятся в предаварийном и аварийном состоянии, в несущих наружных и внутренних стенах имелось множество трещин. В некоторых зданиях ширина трещин увеличивается от первых этажей до верхних, в других — большее раскрытие трещин наблюдается на нижних этажах. В отдельных домах трещины сквозные, здания разделяются на отдельные блоки, что нарушает их пространственную жесткость. Трещины в несущих стенах начали раскрываться или в период строительства или через год — два после заселения домов, либо по прошествии десятилетия. Дома усиливались обоями но, несмотря на это, процесс образования и раскрытия трещин в несущих наружных и внутренних стенах зданий продолжается и по настоящее время.

Анализ результатов обследования таких зданий позволил выявить основные причины появления и развития трещин в конструкциях и установить общие тенденции (механизмы)

разрушения этих зданий. Чаще всего появление трещин связано с неравномерной осадкой грунта.

В общем случае пространственной задачи в разных точках грунтового основания, даже если оно однородное по составу, создается различное напряженное состояние, что вызывает неодинаковые деформации грунта.

Совместная деформируемость здания и основания еще больше осложняется естественной неоднородностью (т.е. зависимостью свойств от пространственных координат) и анизотропностью грунтового массива (т.е. различными физико-механическими свойствами грунта в различных направлениях), нерегулярностью самого сооружения, перераспределением контактных напряжений по подошвам разных фундаментов в результате изгиба и кручения здания, изменением жесткости здания при появлении в нем дефектов и трещин и другими факторами. При неоднородном напластовании слоев грунта на неоднородность, вызываемую напряженным состоянием от веса сооружений, накладывается неоднородность от неодинаковой деформируемости отдельных слоев грунта.

Неравномерные осадки основания и, как результат этого, деформации надземных конструкций, а соответственно и трещины в несущих стенах зданий, могут быть также вызваны следующими причинами:

— увеличением нагрузок на основание при строительстве нового здания вблизи застройки или при пристройке к существующему зданию новых зданий и сооружений, если активные зоны под их фундаментами накладываются друг на друга, вызывая дополнительные вертикальные деформации грунта основания и здания; при надстройке здания;

— нарушением технологического процесса при возведении зданий (промораживание основания грунтов под подошвой фундаментов, недостаточная глубина заложения фундаментов в пучинистых грунтах, недостаточная ширина подошвы фундаментов, засыпка пазух фундаментов строительным мусором, низкое качество кладки кирпичных стен);

— неправильной эксплуатацией жилых зданий, износ трубопроводов горячей, холодной воды и отопления, протечки канализации приводят к постоянному замачиванию грунтов основания фундаментов;

— недостаточно полными инженерно-геологическими изысканиями, в результате которых могут быть пропущены отдельные линзы слабых грунтов (пылеватых, илистых, торфяных), карсты и воздействие карстовых суффозионных процессов с возможным образованием провалных воронок в зоне расположения зданий и сооружений;

— возведением зданий и сооружений на территории бывших оврагов и глубоких выемок, засыпанных строительным мусором и посторонними предметами;

— недоучетом особенностей вечномёрзлых грунтов и изменений их прочностных характеристик под влиянием сезонного оттаивания верхнего деятельного слоя;

— изменением физико-механических свойств грунтов при подъеме или понижении уровня грунтовых вод, при благоустройстве территории (отводе подземных вод в систему коллекторов или наоборот, спуске на территорию строительства агрессивных производственных вод, проникающих в грунт и действующих отрицательно на подземные конструкции; при авариях подземных коммуникаций (водопровода, канализации, горячего водоснабжения);

— откачкой и понижением уровня грунтовых вод при недостаточном креплении стенок котлована, что нередко влечет за собой вынос грунта из-под фундаментов близко расположенных зданий.

Например, проводимые с 1985 года в г. Перми комплексные инженерно-геологические изыскания [2] выявили изменившиеся гидрогеологические условия в основании фундаментов в результате начавшегося в начале 70-х годов интенсивного подтопления территории города грунтовыми водами. Было выявлено, что недостаточно полные гидрогеологические изыскания, проведенные в 60-х годах при строительстве зданий, не отразили наличие в основании фундаментов грунтов, обладающих просадочными свойствами при замачивании. Это сказалось на физико-механических характеристиках грунтов и особенно, на модуле деформации, который снизился на 40–50%, что привело к резкому увеличению осадок зданий, как правило, неравномерных и в результате «трещали» не отдельные дома, а целые микрорайоны.

В результате вышеуказанных причин здания могут получить различные формы деформации: плоские (прогиб, выгиб и перекося) и пространственные (кручение), а также различные их сочетания, что выражается в появлении трещин в стенах зданий.

Экспериментально доказано [3], что первые трещины в кирпичной кладке появляются при нагрузке, составляющей 40–60% от разрушающей, что и приводит к нелинейному характеру деформирования материала. Наличие отдельных трещин — это еще не разрушение конструкции. Накапливаясь, трещины могут привести к потере несущей способности здания. Однако этот момент не явля-

ется внезапным, а является результатом накопления повреждений на разных структурных уровнях.

Усовершенствование математических моделей материала, учитывающих накопление и развитие трещин в кирпичной кладке и влияние нагружающих систем, является важной задачей механики разрушения.

Вопросы прочности кирпичной кладки при сложном напряженном состоянии в настоящее время практически не нашли отражения ни в нормах РФ, ни в нормах зарубежных стран. Для описания свойств кирпичной кладки была разработана математическая модель механического поведения материала в условиях сложного напряженного состояния, учитывающая структурные разрушения и деформационное разупрочнение. При этом учитывались такие характерные виды ее разрушения, как раскалывание и раскрашивание.

Было сделано предположение, что материал изначально является ортотропным (или изотропным) линейно упругим, и повреждаясь путем растрескивания и/или раскрашивания, остается ортотропным. Т.е. данная модель является обобщающей для упруго-хрупких материалов. Трещины обычно образуются в плоскостях, направление нормалей к которым совпадает с направлением действия 1-го главного напряжения. Опираясь на результаты обследования большого числа зданий и натурные эксперименты, введем гипотезу о том, что трещины в кирпичной кладке возникают только в плоскостях, ортогональных глобальной декартовой системе координат (ДСК), так что оси ортотропии свойств совпадают с ДСК. Такое допущение вполне целесообразно, так как в противном случае потребуется весьма сложная система экспериментов для получения полных диаграмм деформирования материала в разных направлениях кладки, не обладающих высокой степенью отличия. Прочностные же характеристики разных кирпичных кладок имеют весьма большой разброс.

В общем случае анизотропии число элементов тензора модулей упругости, называемых упругими коэффициентами, равно 36. Используя понятие о потенциальной энергии деформации и закон сохранения энергии, можно показать, что тензор упругости является симметричным, поэтому число элементов тензора упругости уменьшится до 21.

Для ортотропного материала, имеющего три взаимно перпендикулярных плоскости симметрии, число независимых коэффициентов тензора модулей упругости  $C_{ijkl}$  равно 9 и зависимость между компонентами тензоров напряжения и деформации в неповрежденном материале можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{11} &= C_{1111}\varepsilon_{11} + C_{1122}\varepsilon_{22} + C_{1133}\varepsilon_{33}, \\ \sigma_{22} &= C_{1122}\varepsilon_{11} + C_{2222}\varepsilon_{22} + C_{2233}\varepsilon_{33}, \\ \sigma_{33} &= C_{1133}\varepsilon_{11} + C_{2233}\varepsilon_{22} + C_{3333}\varepsilon_{33}, \\ \sigma_{12} &= 2C_{1212}\varepsilon_{12}, \\ \sigma_{13} &= 2C_{1313}\varepsilon_{13}, \\ \sigma_{23} &= 2C_{2323}\varepsilon_{23}. \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$



где  $\varepsilon_{ij}$  — компонентами тензора деформаций  $\hat{\varepsilon}$ ,  $\sigma_{ij}$  — компонентами тензора деформаций  $\hat{\sigma}$ .

Используя понятия о модулях упругости и коэффициентах Пуассона упругие коэффициенты  $C_{ijkl}$  можно записать:

$$\left. \begin{aligned} C_{1111} &= \frac{1}{\chi} E_1 (1 - \nu_{23} \nu_{32}), & C_{2222} &= \frac{1}{\chi} E_2 (1 - \nu_{13} \nu_{31}), \\ C_{3333} &= \frac{1}{\chi} E_3 (1 - \nu_{12} \nu_{21}), & C_{1122} &= \frac{1}{\chi} E_1 (\nu_{21} + \nu_{31} \nu_{23}), \\ C_{1133} &= \frac{1}{\chi} E_1 (\nu_{31} + \nu_{32} \nu_{21}), & C_{2233} &= \frac{1}{\chi} E_2 (\nu_{32} + \nu_{31} \nu_{12}), \\ C_{1212} &= 2G_{12}, & C_{1313} &= 2G_{13}, & C_{2323} &= 2G_{23}, \\ \chi &= 1 - \nu_{12} \nu_{21} - \nu_{13} \nu_{31} - \nu_{23} \nu_{32} - 2\nu_{12} \nu_{23} \nu_{31}. \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где  $E$  и  $\nu$  — модуль упругости и коэффициент Пуассона, соответственно.

Опираясь на результаты экспериментов кирпичной кладки и составляющих ее компонентов [4, 5], свойства упруго-хрупких материалов с учетом структурного разрушения (накопления повреждений) можно представить в виде идеализированной диаграммы деформирования при одноосном сжатии вдоль любого из направлений (рис. 1).

Рассмотрим разные виды повреждений для бесконечно малого элемента среды и определим, как это отразится на коэффициентах  $C_{ijkl}$ , а соответственно, на определяющих соотношениях.

Раскрашивание материала определим как изменение структурной целостности материала, эквивалентное полной потере жесткости при одноосном, двухосном, или трехосном сжатии, при этом соответствующие  $C_{ijkl} \rightarrow 0$ .

Растрескивание материала или появление «трещины» в плоскости, перпендикулярной одной из координатных осей  $x_i$  приводит к падению жесткости материала в данном направлении. Под «трещиной» понимается образование в бесконечно малом элементе среды зоны со сниженными механическими характеристиками в результате накопления повреждений (в соответствии с диаграммой на

рис. 1). Для каждой трещины (здесь и далее кавычки опущены) будем рассматривать два состояния: трещина открыта или закрыта. Используя понятия о модулях упругости и коэффициентах Пуассона вместо упругой константы  $E_i$  — введем переменную величину  $E_{i\text{тр}}(e_{ii})$ , зависящую в соответствии с диаграммой (см. рис. 1) от уровня деформации. Коэффициенты Пуассона, определяющие вклад деформаций в направлениях поперечных к оси  $x_i$  приравняем к нулю. Кроме того, в соответствующие сдвиговые жесткости введем понижающий коэффициент  $\beta_{\text{тр}}^+$ , который облегчает сдвиг вдоль поверхности трещины (косвенно учитывает трение по поверхностям трещины). Знак «+» здесь указывает, что трещина открыта. Критерии открытия-закрытия трещины определим ниже.

Рассмотрим появление одной трещины в плоскости перпендикулярной оси  $x_1$  (рис. 2). При этом в направлении  $x_1$  жесткость падает и вместо упругой константы  $E_1$  в этом направлении — вводится  $E_{1\text{тр}}(e_{11})$ . Коэффициенты Пуассона  $\nu_{12}$  и  $\nu_{13}$ , характеризующие деформацию в направлениях  $x_2$  и  $x_3$  при растяжении в направлении оси  $x_1$ , принимаем равными нулю.

Тогда выражения (1) для материала с раскрытой трещиной в плоскости перпендикулярной оси  $x_1$  можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \frac{\sigma_{11}}{E_{1\text{тр}}(\varepsilon_{11})}, \\ \varepsilon_{22} &= \frac{\sigma_{22}}{E_2} - \frac{\nu_{32}}{E_3} \sigma_{33}, \\ \varepsilon_{33} &= -\frac{\nu_{23}}{E_2} \sigma_{22} + \frac{\sigma_{33}}{E_3}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Выражая напряжения через деформации и вводя понижающий коэффициент  $\beta_{\text{тр}}^+$  в соответствующие сдвиговые жесткости, физические уравнения для данного случая получим в виде:

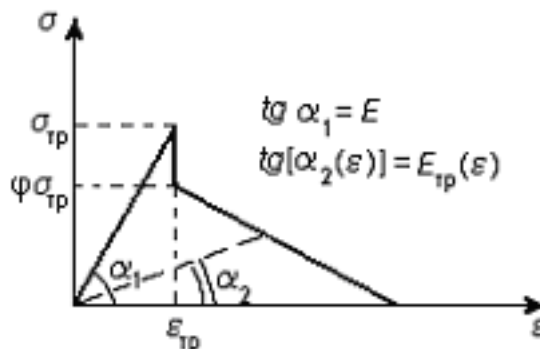


Рис. 1. Диаграмма деформирования упруго-хрупкого материала:  
 $\sigma_{\text{тр}}$  — напряжение образования трещины при одноосном сжатии;  
 $\varphi$  — коэффициент релаксации напряжений после образовании трещины.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{11} &= E_{1\text{тр}}(\varepsilon_{11})\varepsilon_{11}, \\ \sigma_{22} &= \frac{E_2}{1-\nu_{23}\nu_{32}}(\varepsilon_{22} + \nu_{32}\varepsilon_{33}), \\ \sigma_{33} &= \frac{E_3}{1-\nu_{23}\nu_{32}}(\nu_{23}\varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}), \\ \sigma_{12} &= 2\beta_{\text{тр}}^+ G_{12}\varepsilon_{12}, \\ \sigma_{23} &= 2G_{23}\varepsilon_{23}, \\ \sigma_{13} &= 2\beta_{\text{тр}}^+ G_{13}\varepsilon_{13}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Т.е. коэффициенты жесткости в определяющих соотношениях (1) для материала с раскрытой трещиной в плоскости, перпендикулярной направлению  $x_1$  будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} C_{1111} &= E_{1\text{тр}}(\varepsilon_{11}), \quad C_{1122} = C_{1133} = 0, \quad C_{2222} = \frac{E_2}{1-\nu_{23}\nu_{32}}, \\ C_{3333} &= \frac{E_3}{1-\nu_{23}\nu_{32}}, \quad C_{2233} = \frac{E_2\nu_{32}}{1-\nu_{23}\nu_{32}} = C_{3322}, \\ C_{1212} &= \beta_{\text{тр}}^+ G_{12}, \quad C_{1313} = \beta_{\text{тр}}^+ G_{13}, \quad C_{2323} = G_{23}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Аналогично можно получить коэффициенты жесткости для открытой трещины в направлениях, перпендикулярных осям  $x_2$  и  $x_3$  соответственно.

Состояние раскрытия или закрытия трещины будем оценивать по знаку нормального контактного напряжения на поверхности трещины и далее обозначено знаком «+» — открытая трещина, знаком «-» — закрытая трещина. Для материала с закрытой трещиной (контактные сжимающие нормальные напряжения  $\sigma_1 < 0$ ) в плоскости перпендикулярной направлению  $x_1$  в определяющих соотношениях корректируются только сдвиговые жесткости:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{12} &= 2\beta_{\text{тр}}^- G_{12}\varepsilon_{12}, \\ \sigma_{23} &= 2G_{23}\varepsilon_{23}, \\ \sigma_{13} &= 2\beta_{\text{тр}}^- G_{13}\varepsilon_{13}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\text{т.е. } C_{1212} = \beta_{\text{тр}}^- G_{12}, \quad C_{1313} = \beta_{\text{тр}}^- G_{13}, \quad C_{2323} = G_{23}. \quad (7)$$

Здесь понижающий коэффициент  $\beta_{\text{тр}}^-$ , отличный от  $\beta_{\text{тр}}^+$ , также учитывает сдвиг вдоль поверхности трещины. Остальные коэффициенты жесткости равны исходным в неразрушенном состоянии.

Кроме того, возможны варианты появления двух и трех трещин в точке элемента (открытых и закрытых) в плоскостях, перпендикулярных направлениям  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ). Так, если кроме открытой трещины в направлении, перпендикулярном оси  $x_1$  появляется еще и открытая трещина в направлении, перпендикулярном  $x_2$  (рис. 3), физические уравнения для этого случая будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{11} &= E_{1\text{тр}}(\varepsilon_{11})\varepsilon_{11}, \\ \sigma_{22} &= E_{2\text{тр}}(\varepsilon_{22})\varepsilon_{22}, \\ \sigma_{33} &= E_3\varepsilon_{33}, \\ \sigma_{12} &= 2\beta_{\text{тр}}^+ G_{12}\varepsilon_{12}, \\ \sigma_{23} &= 2\beta_{\text{тр}}^+ G_{23}\varepsilon_{23}, \\ \sigma_{13} &= 2\beta_{\text{тр}}^+ G_{13}\varepsilon_{13}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Аналогично получаются определяющие соотношения для двух трещин одновременно в направлениях  $x_2$  и  $x_3$  или  $x_1$  и  $x_3$ .

В случае появления трещин в трех взаимно ортогональных направлениях (рис. 4), физические уравнения будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{11} &= E_{1\text{тр}}(\varepsilon_{11})\varepsilon_{11}, \\ \sigma_{22} &= E_{2\text{тр}}(\varepsilon_{22})\varepsilon_{22}, \\ \sigma_{33} &= E_{3\text{тр}}(\varepsilon_{33})\varepsilon_{33}, \\ \sigma_{12} &= 2\beta_{\text{тр}}^+ G_{12}\varepsilon_{12}, \\ \sigma_{23} &= 2\beta_{\text{тр}}^+ G_{23}\varepsilon_{23}, \\ \sigma_{13} &= 2\beta_{\text{тр}}^+ G_{13}\varepsilon_{13}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

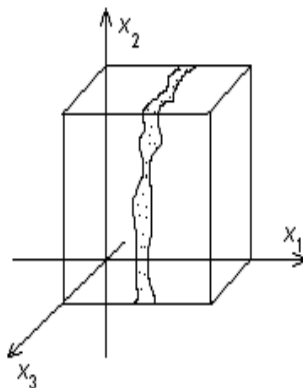


Рис. 2. Трещина в направлении перпендикулярном оси  $x_1$

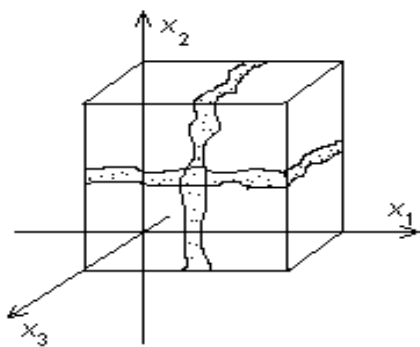


Рис. 3. Трещины в направлениях перпендикулярных осям  $x_1$  и  $x_3$

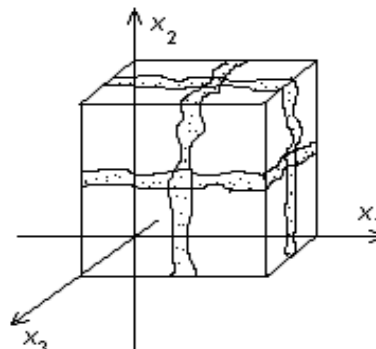


Рис. 4. Трещины в трех взаимно перпендикулярных направлениях

Поскольку вопросы прочности конструкций из кирпичной кладки при сложном напряженном состоянии с учетом накопления повреждений в настоящее время пока не имеют теоретического решения и не нашли отражения ни в нормах РФ ни в нормах зарубежных стран, была разработана математическая модель механического пове-

дения кирпичной кладки, учитывающая структурные разрушения, деформационное разупрочнение и ортотропию свойств материала, как исходного, так и поврежденного, в условиях сложного напряженного состояния, которая является обобщающей и для бетона.

#### Литература

1. СНиП 2.01.07—85. Нагрузки и воздействия. М.: Стройиздат, 1985.
2. Маковецкий О.А. Оценка и прогнозирование надежности систем «основание-фундамент-здание». Пермь, 2005. 331с.
3. Исследования по каменным конструкциям. Сб.ст./ Под ред. Л.И. Онищика. М.: Госстройиздат, 1957.
4. Онищик Л.И. Особенности работы каменной конструкции под нагрузкой в стадии разрушения // Исследования по каменным конструкциям. М.: Стройиздат, 1969. С.5—44.
5. Чармадов А.К. Исследование прочности вибрированной кладки при двухосном напряженном состоянии // Исследования конструкций крупнопанельных зданий: Сб. тр./ М.: ЦНИИСК, 1981.

## Разработка технологии автоматизации процесса монтажа печатных плат с применением механизмов с параллельной кинематикой

Клеветов Д.В., ассистент

Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева

В современных условиях эффективным средством интенсификации производства, при повышении качественных показателей продукции и снижении её себестоимости, является механизация и автоматизация технологических операций. В связи с тем, что сборочные операции, как правило, являются завершающим этапом производственного цикла изделий машиностроения и приборостроения, от качества их выполнения, в значительной мере зависят точность, надежность и долговечной продукции.

Автоматизированная сборка позволяет повысить производительность труда, исключить вредное воздействие на человека шума, вибрации, пыли, грязи, токсичных ве-

ществ, а главное обеспечить стабильное качество изготавливаемых изделий

В современной промышленности важную роль играет время. Именно время определяет насколько быстро возможно произвести продукцию или оказать необходимый объем услуг.

Электроника, в современной промышленности, является динамично развивающейся отраслью. Да и самостоятельной электроника стала относительно недавно, по меркам науки. С развитием этой отрасли резко возросла и нагрузка на производственные мощности предприятий, занимающихся производством и выпуском радиоэлектронной аппаратуры. Выпуск данного вида изделий со-

пряжен определенными трудностями, связанными с его спецификой. В настоящее время стремление минимизировать окружающую нас технику охватили все человечество. Но проблема минимизации не найдет своего решения без применения точнейшего оборудования и внедрения новых технологий в производство.

С развитием современных технологий на вооружение современной промышленности приходит новое оборудование, принцип работы которого основан на использовании параллельной кинематики.

Целью исследований является создание технологии для автоматизации производственного процесса монтажа печатных плат с возможностью применения механизмов с параллельной кинематической структурой. В настоящее время это очень сложный технологический процесс в части автоматизации. Достигнуты результаты по автоматизации производства на отдельных переходах производственного процесса.

Основными преимуществами параллельных манипуляторов перед последовательными являются: более высокая жесткость системы, лучшая грузоподъемность и меньшая инерция, а так же внешние габариты и повышенная скорость работы. Замкнутая кинематическая цепь обеспечивает более высокую жесткость всей конструкции, а сокращение массы подвижных частей уменьшает нагрузки на привода. В итоге это существенно повышает динамику и точность позиционирования МПКС, а так же повышает энергоэффективность производства.

К недостаткам параллельных роботов следует отнести меньшее рабочее пространство, по сравнению с последовательными механизмами, и более сложную конструкцию. Но, несмотря на недостатки, подобные системы становятся более привлекательными для применения в современной промышленности, в которой ценятся производительность и компактность.

Основным замыслом, при использовании подобных устройств было оперировать легкими объектами, но с большой скоростью и повышенной точностью, то, что требовалось и требуется в промышленности. Заявленные свойства являются достаточными для применения подобных механизмов в автоматизированном монтаже печатных плат.

Обычно, механизм с параллельными кинематическими связями, (в дальнейшем — параллельный манипулятор) состоит из движущейся платформы, которая прикрепляется к зафиксированной платформе (базе) несколькими соединениями (ногами). В большинстве случаев число ног равно числу степеней свободы. Каждое соединение управляется одним приводом, и все приводы могут размещаться на или возле базы. Вследствие того, что внешняя нагрузка на подвижную платформу может разделяться между приводами, параллельные манипуляторы имеют хорошую грузоподъемность. Началом отсчета новой эры развития МПКС, эры экстремально больших скоростей и ускорений, принято считать конец 80-х, годы создания робота «Delta». Создание нового семейства МПКС произошло в

Швейцарии и принадлежит профессору Reymond Clavel (см. рис. 1) [1–3].

Семейство механизмов с параллельной кинематической структурой очень обширно, особенно многогранно области применения подобных устройств. Подобные технологии нашли широкое применение в промышленности (станки и краны), индустрии развлечений (аттракционы, театральное оборудование), медицине [3–4] и многих других областях деятельности человека.

Изначально же подобные виды устройств применялись для имитации бортовой качки судна и в авиа тренажерах, причем преимущественно это была военная технология.

Однако для более массового применения подобных устройств необходимо более подробно остановиться на вопросе изучения рабочей области. Исследования данных характеристик занимают как в России, так и за её пределами [5–10]. Необходимо определить, согласно поставленным задачам, достаточно ли рабочей области для выполнения поставленной задачи. Сможет ли применение подобной технологии обеспечить автоматизацию технологического процесса монтажа печатных плат. Поэтому вопросу изучения рабочей области отводится очень важное место в теории МПКС.

Как уже было отмечено, что распространение применения МПКС ограничивается относительно «малой» рабочей областью пространства самого оборудования. Это свойство одновременно является достоинством и недостатком. Достоинством можно выделить — компактность оборудования, а в недостатки — обработку малых объектов. В связи с ограниченной рабочей областью, необходимо точно знать какое оборудование необходимо использовать в том или ином случае, или, другими словами, необходимо определить зависимость между габаритами обрабатываемых изделий и размерами проектируемого оборудования по их обработке. Т.е. принимая во внимание себестоимость изготовления изделий, которая должна иметь тренд на понижение, под конкретные задачи проектируется отдельное оборудование — максимально универсальное в рамках данного технологического процесса.

Например, в [5] при проектировании платформы Стюарта важно априорно знать характеристики рабочей области манипулятора при заданных ограничениях на величину хода приводов механизмов. Как правило, рабочая зона таких устройств представляет собой достаточно сложную геометрическую фигуру, форму которой трудно передать в технической документации. В [5] приводится метод построения сечений рабочей области тремя ортогональными плоскостями ( $zx$ ,  $zy$  и  $ux$ ) проходящими через точку центра платформы в исходном положении манипулятора. Этот метод позволяет с малыми вычислительными затратами оценить рабочую область проектируемого манипулятора с учетом того что: хода приводов ограничены сверху и снизу, должны отсутствовать взаимные пересечения звеньев манипулятора, механизм не должен попадать в особые положения.

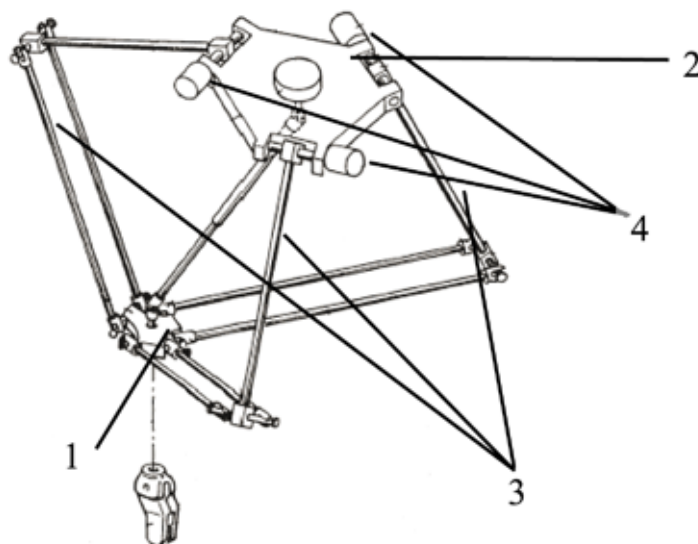


Рис. 1. Оригинальный чертеж МПКС (U.S. Patent 4.976.582) [1]

1. Движущая платформа; 2. Зафиксированная платформа (база); 3. Манипуляторы; 4. Исполнительные механизмы.

Приступая к анализу подобных механизмов, обратимся к простейшим из данного семейства — плоским механизмам или механизмам с двумя степенями свободы. Но, стоит отметить, что обширное семейство разработанных МПКС делится на 2 большие группы [6]:

- МПКС с постоянной структурой рабочих устройств;
- МПКС с переменной структурой рабочих устройств.

Разберем более подробно каждую из них. Пример МПКС первой группы, описанный в [7–8] — это механизм с двумя рабочими устройствами, закрепленными на жестко закрепленных шарнирах и скрепленных между собой точкой сцепления. Движение осуществляется путем перемещения конструкции по полозьям основной рамы (станины), а благодаря шарнирному соединению удастся осуществлять перемещение в рабочем пространстве. В данном случае, рабочая область ограничена рамками самой рамы и особыми «мертвыми зонами» в крайних положениях. Подобные устройства не получили широкого распространения, хотя и заняли свою нишу в области промышленного оборудования.

Более привлекательной для современной промышленности МПКС второй группы. Где взамен рабочих устройств применяются рабочие цилиндры [8–9]. Одновременно перенесем нашу задачу в более привычный для анализа вид — в декартову систему координат (см. рис. 2). В которой:  $q_1$  и  $q_2$  — расстояние от места крепления 1-го и 2-го рабочего соответственно цилиндров до заготовки (т.  $P$ ) или длина рабочих цилиндров;  $b$  — расстояние между закрепленными концами рабочих цилиндров (отрезок  $AB$ );  $P(x_p, y_p)$  — координаты заготовки.

Итак, получаем, в системе существует 2 закрепленных на шарнирах пневмо(гидро-) цилиндра соединенных между собой (рис. 2). В месте соединения (точка  $P$ ) может быть установлен хват или любая другая насадка.

Объединим точку сцепления, хват и заготовку в одной точке — т.  $P$ . Тогда задачей конструктора является со-

здание такого механизма что бы была возможность по автоматическому перемещению заготовки на определенное расстояние, т.е. относительно нашего случая перемещение т.  $P$ . Причем положение т.  $P$  в начальный и в конечный моменты времени изначально определены. Конструктору только необходимо подобрать необходимый механизм, т.е. рабочие цилиндры с требуемым диапазоном работы от минимального до максимального значений. Данные рабочие цилиндры имеют возможность как растяжения, так и сжатия (направление перемещения показано стрелочками (рис. 2)).

Для того, чтобы сопоставить работу системы с необходимыми параметрами перемещения заготовки (рабочая область) у инженеров-конструкторов непременно должен находиться мощный инструмент визуализации, позволяющим им оценить функциональные возможности будущего изделия. Важным в изучении рабочей области является изучение в контексте дальнейшего промышленного применения. Имена она, рабочая область, ограничивает применение МПКС.

В [10] описан существующий инструмент, который позволяет отображать рабочую область описанных выше конструкций. Данное приложение было создано в среде MATLAB-GUI. В данном приложении необходимо задание нескольких параметров: минимально и максимального значений длин рабочих цилиндров и расстояния между закрепленными концами рабочих цилиндров (отрезок  $AB$ , см. рис. 2). Приложение позволяет получить изображение рабочей области.

Однако данный алгоритм позволяет увидеть только возможности самого механизма и не позволяет одновременно увидеть положение объекта перемещения. Одновременно отсутствует и сам алгоритм преобразований, не позволяющий увидеть математическое обоснование. Добавление подобных свойств отображения позволило



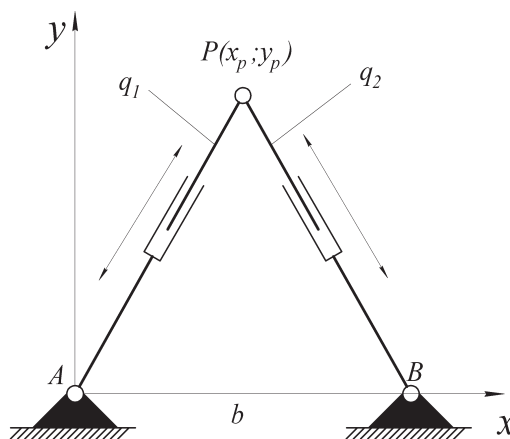


Рис. 2. Плоский механизм с параллельной кинематикой [8: fig.10. p. 6].

бы сделать процесс моделирования более эффективным и прозрачным. Сам процесс моделирования, в данном случае призван решать две задачи:

1. Наглядность;
2. Подбор характеристик механизма; причем вторая задача наиболее ценная.

В результате проведенных исследований [11, 12, 13] удалось выявить полное соответствие задач по моделированию рабочей области механизмов с двумя степенями свободы (описанных выше) и задач, решаемых при исследовании плоской (дальномерной) [15] навигационной задачи.

В задачах позиционирования главной целью является, как можно более точно определить местоположение объекта в пространстве или на плоскости. Наряду с этим, к данным задачам предъявляются особые требования по точности и надежности всех сделанных измерений и расчетов. Немаловажную роль при этом играют и задачи визуализации процессов, как промежуточных, так и конечных. Необходимо отметить, что в [8] не представлен алгоритм построения или решения задачи визуализации.

Основываясь уже на сделанном выводе о соответствии решаемых задач позиционирования, удалось создать новый «более легкий», по сравнению с [8], инструмент визуализации [14] рабочей области плоских механизмов с параллельной кинематикой.

Но в отличие от описанного выше [8], полученный алгоритм [17, 18, 19] позволяет не только добиться таких же результатов, но и проследить возможное поведение рабочих цилиндров при задании необходимой рабочей области.

Как и в способе прототипе [8] (см. рис. 7а), в разработанном алгоритме [20] необходимо задание минимального и максимального значений, которые могут принимать длины рабочих цилиндров, координаты точек А и В, тогда на экране компьютера будет отображаться рабочая область. Вследствие многократного решения геометрической задачи мы видим результат в виде геометрического места точек. Алгоритм схож с известным методом Монте-Карло (в нем так же определяются ограничения области).

Так же добавлена функция по изображению рабочего пространства с известными рабочими параметрами. Алгоритм визуализации имеет возможность отображения области, в которой предстоит перемещать или обрабатывать заготовку (деталь). Это возможно благодаря заданию длин рабочих цилиндров и размера их хода.

Так же одним из преимуществ нового способа визуализации является то, что он был создан в среде MathCAD, что является более «легкой» по сравнению со средой MATLAB-GUI разработки. При этом разработчику-проектировщику системы представлен полностью математический алгоритм решения. Поэтому, несомненно, можно выделить ещё одну дополнительное достоинство созданного алгоритма его открытость.

Напомним, что визуализация рабочего пространства не является главной целью при проектировании, она главным образом призвана помочь конструкторам на начальных этапах проектирования, а так же для большего понимания происходящих процессов. Полученные результаты исследований процедуры визуализации позволят любому читателю применить их к исследованию аналогичных задач со своими исходными данными.

Визуализация рабочей области плоских механизмов призвана помочь при понимании более сложных механизмов, когда число рабочих цилиндров увеличивается, а движения совершаются уже не на плоскости, а в пространстве.

Благодаря проведению работ по исследованию рабочей области МПКС был создан алгоритм и выведены критерии, позволяющие в совокупности:

1. подобрать необходимое оборудование исходя из размеров объектов технологического процесса, что позволит рационально использовать производственные площади.
2. исследовать поведение оборудования и его рабочую область ещё на стадии моделирования.
3. Благодаря достоинствам созданного алгоритма:
4. открытость;
5. интуитивно-понятный интерфейс;

6. возможность отображения рабочей области;
  7. возможность выделения отдельных «контрольных» участков;
  8. отображение полного математического решения;
- стало возможным его применение для решения иных задач с подобными входными параметрами. И, что самое главное, данный алгоритм полностью соответствует ре-

шаемой в рамках поставленной задачи по проектированию и применению МПКС для автоматизации процесса монтажа блоков радиоэлементов. Для этого необходимо проанализировать объект технологического процесса (печатную плату, подготовленную к монтажу), а именно габаритные размеры и алгоритм позволит подобрать необходимые параметры для проектирования МПКС.

### Литература

1. Reymond Clavel. Device for the movement and positioning of an element in space // United States Patent 4976582
2. <http://forums.trossenrobotics.com/tutorials/introduction-129/delta-robot-kinematics-3276/>
3. <http://www.parallelemic.org/Reviews/Review002.html>
4. [http://www.cats.rpi.edu/~wenj/ECSE641S07/delta-robot\\_success\\_story.pdf](http://www.cats.rpi.edu/~wenj/ECSE641S07/delta-robot_success_story.pdf)
5. А.В. Смородов, А.Н. Волков. Построение рабочей области платформы Стюарта и её сечений. // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды 7 всероссийской научно-практической конференции, Том.4. «Экстремальная робототехника» СПб. 2004., С. 140–143.
6. Stan Sergiu-Dan, Vistrian Maties, Radu Balan. A multicriteria approach for the optimal design of 2 DOF parallel robots used in construction applications, The 24th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ISARC 2007, pp. 205–210, [www.iaarc.org/external/isarc2007-cd/www/PDF/2.3\\_4\\_104.pdf](http://www.iaarc.org/external/isarc2007-cd/www/PDF/2.3_4_104.pdf)
7. Sergiu-Dan Stan, Vistrian Mătieş and Radu Bălan. Optimal Design of Parallel Kinematics Machines with 2 Degrees of Freedom / I. Huapeng Wu. Parallel Manipulators, Towards New Applications. Chapter, 14 // I-Tech Education and Publishing. – Austria. Vienna: Printed in Croatia, first published April 2008. – P. 295–296.
8. Senior Lecturer Dr. Eng. Sergiu-Dan Stan <http://www.sergiustan.ro/What%20is%20a%20Parallel%20Robot.pdf>
9. Stan, S., Workspace optimization of a two degree of freedom mini parallel robot, IEEE-TTTC International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics – AQTR 2006 (THETA 15), Cluj-Napoca, Romania, pp. 278–283, 2006.
10. Sergiu-Dan Stan, Vistrian Mătieş and Radu Bălan. Optimal Design of Parallel Kinematics Machines with 2 Degrees of Freedom / I. Huapeng Wu. Parallel Manipulators, Towards New Applications. Chapter, 14 // I-Tech Education and Publishing. – Austria. Vienna: Printed in Croatia, first published April 2008. – P. 308–312.
11. Клеветов Д.В. Моделирование рабочей области плоских механизмов с параллельной кинематикой [Текст] / Д.В. Клеветов // II Всероссийская научная конференция и VII Всероссийская школа-семинар аспирантов, молодых ученых и специалистов «Математическое моделирование развития Северных территорий Российской Федерации»: Тез. докл. / Якутск: Филиал изд-ва ЯГУ, ИМИ ЯГУ, 2009. – С. 87 – 89.
12. Клеветов Д.В. Проект создания Delta-робота [электр.] / Д.В. Клеветов // Н 34 Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России [Электронный ресурс]: II Всероссийские научные Зворыкинские чтения. Сб. тез. докладов II Всероссийской межвузовской научной конференции (Муром, 5 февраля 2010 г.). – Муром: Изд. полиграфический центр МИ ВлГУ, 2010. – 802 с., ил. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с экрана. – № гос. регистрации 0321000182. С. 627–629
13. Клеветов Д.В. Применение механизмов с параллельной кинематической структурой в технологических процессах производства [Текст] / Д.В. Клеветов // Вооружение. Технология. Безопасность. Управление [Текст]: материалы V научно-технической конференции аспирантов и молодых ученых. Вбч. Ч. 4. – Ковров: ГОУ ВПО «КГТА им. В.А. Дегтярева», 2010. С. 59–71.
14. Klevetov D. Modeling workspace of planar parallel kinematics machines with 2 degrees of freedom / D. Klevetov // The third International conference “Problem of Cybernetics and Informatics” September 6–8, 2010, Baku, Azerbaijan, Section #5 “Control and Optimization”, P. 174–177.
15. Автономные подводные роботы: системы и технологии / под общ. ред. М.Д.Агеева. – М.: Наука, 2005.
16. Барабанова Л.П. Об особенностях разностно-дальномерной навигационной задачи в случае четырех компланарных маяков // Известия РАН. ТиСУ, 2005, № 1, С.159–166.
17. Барабанова, Л.П., Изображение апостериорной неопределенности в дальномерной навигации [Текст] / Л.П. Барабанова, Д.В. Клеветов, А.А. Клычев // Гироскопия и навигация. – 2006. – №2(53). – С. 98.
18. Клеветов, Д.В. Исследование задачи дальномерной навигации [Текст] / Д.В. Клеветов, О.О. Барабанов, Л.П. Барабанова // «МИКМУС-2007» избранные труды конференции. – М.: ИМАШ РАН, 2007. – С. 50–56.
19. Клеветов, Д.В. Дальномерная навигационная задача с измерением эффективной скорости сигнала [Текст] / Д.В. Клеветов, О.О. Барабанов // Известия ОрелГТУ. Серия: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2008. – №2–2/270(545). – С. 67–69.

20. Klevetov D. Modeling workspace of planar parallel kinematics machines with 2 degrees of freedom. [www.pci2010.science.az/5/49.pdf](http://www.pci2010.science.az/5/49.pdf)

*Работе выполнена при поддержке РФФИ (грант № 05–08–50076) и проекта № 14006 программы «У.М.Н.И.К.».*

## Существующий опыт в разработке моделей деятельности образовательных учреждений

Краевский Я.П., соискатель  
Омский государственный институт сервиса

Научный руководитель – кандидат педагогических наук, профессор Лучко О.Н.

В настоящее время информационные технологии постепенно внедряют в ВУЗы и применяют там для совершенствования и автоматизации бизнес-процессов, а так же для разработки моделей деятельности образовательных учреждений (ОУ). Это происходит под влиянием руководства ВУЗов или на альтруистической основе преподавателей технических дисциплин, что позволяет образовательным учреждениям быть более конкурентоспособными.

Рассмотрим такие внедрения в образовательный процесс на примерах некоторых ВУЗах страны.

1) Ивановский государственный энергетический университет описал свою обновленную структуру (Рис.1), ориентированную на реализацию философии всеобщего

(комплексного, тотального) управления качеством университета. В этой структуре выделены две группы элементов [1]:

В структуре университета необходимо разделять основные подразделения, ориентированные на выполнение миссии и сопутствующие подразделения, способствующие эффективной работе основных подразделений.

2) На факультете высоких технологий Ростовского государственного университета внедрение информационных технологий в образовательный процесс нашло свое применение в системе генерации расписания [3].

Правильно составленное и оптимизированное расписание занятий позволяет сохранить высокую работоспо-

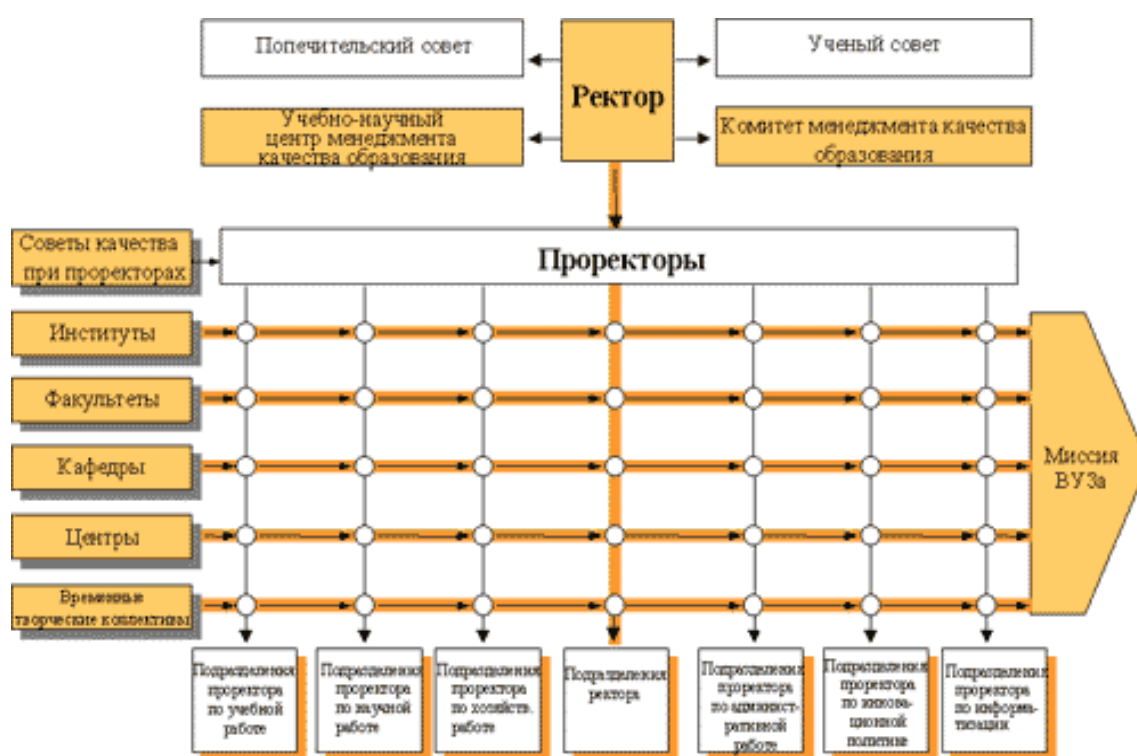


Рис. 1. Структура ИГЭУ, ориентированная на выполнение миссии вуза



Рис. 2. Контекстная диаграмма процесса генерации расписаний

способность на протяжении учебного дня, недели, четверти, сессии. Для системы генерации расписаний (СГР) занятий на факультете высоких технологий входными параметрами являются: учебный план и банк аудиторий, а выходными — оптимизированное расписание. В качестве управляющих факторов приходится ограничения, налагаемые на систему и непосредственно алгоритм эвристического поиска, используемый для создания системы на программном уровне, а механизмами (ресурсами, необходимыми для проведения работы) выступают аппаратное обеспечение, программное обеспечение и непосредственно персонал. Взаимодействие системы с внешней средой показано в виде контекстной SADT-диаграммы (Рис.2).

Функциональная декомпозиция процесса происходит в среде BPwin. В процессе компоновки расписания данные неоднократно анализируются и проверяются. На первом этапе экспертами анализируются информация о преподавателях и банк аудиторий, при этом учитывается условие отсутствия окон у преподавателей и допустимая загруженность аудиторий. После каждого сеанса декомпозиции проводятся сеансы экспертизы — эксперты предметной области указывают на соответствие реальных процессов созданным диаграммам. Найденные несоответствия исправляются, и только после прохождения экспертизы без замечаний можно приступить к следующему сеансу декомпозиции. Так достигается соответствие модели реальным процессам на любом и каждом уровне модели.

Логическая модель составления и оптимизации расписания полученная в среде ERwin представлена на рис.3.

Как видно из диаграммы, зависимыми сущностями являются: расписание; нагрузка; группа; а независимыми: пре-

подаватели; учебный план; аудитории. При этом все связи между сущностями отражают отношение один-ко-многим.

Успешное создание модели расписания стимулировало факультет высоких технологий РГУ на дальнейшую работу. Целью данной работы является создание базы данных (БД) «Абитуриент», которая позволит автоматизировать работу технического секретаря приемной комиссии факультета высоких технологий РГУ [2].

При работе с большим числом людей приёмной комиссии приходится иметь дело с огромным количеством информации, поэтому возникает необходимость структурирования и организации сбора, хранения, обработки, анализа и эффективного доступа к накопленным данным.

Проанализировав работу центральной приемной комиссии РГУ и используя описание информационных процессов, протекающих в ней, в среде BPwin разработана контекстная модель работы приемной комиссии и проведена ее декомпозиция (Рис. 4).

На следующем этапе на основе полученных моделей в среде ERWin разработаны логическая и физическая структура БД.

Использование проектируемой БД позволит не только автоматизировать работу секретаря приемной комиссии, но и проводить анализ результатов вступительных испытаний для выявления целевой аудитории.

Использование совместно программных инструментов BPwin и ERwin помогает правильно оценить стоящие задачи, предложить адекватное решение и разработать центральную часть любой информационной системы — базу данных. Эти инструменты позволяют сконцентрироваться на собственно разработке системы и снизить потери вре-

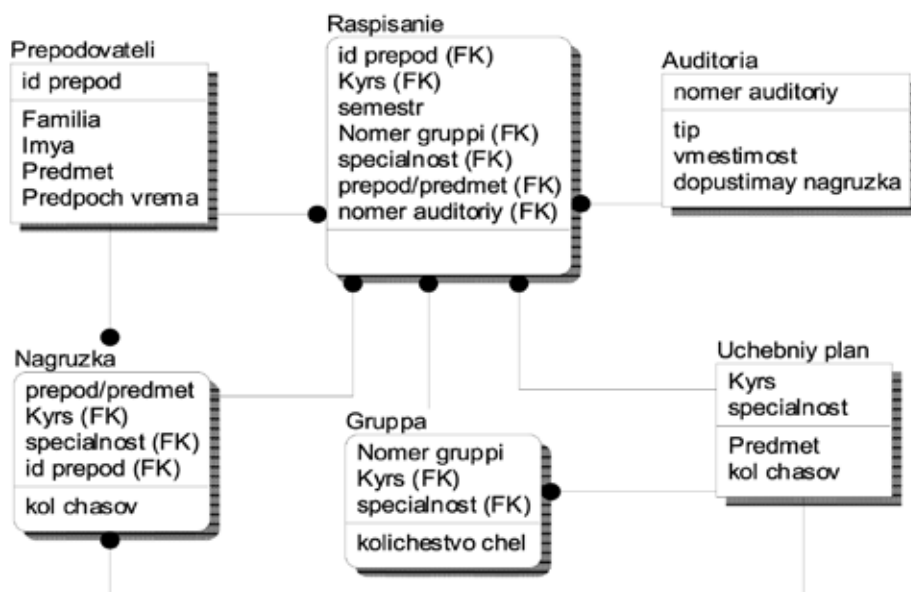


Рис. 3. Логическая модель «составления и оптимизации расписания»

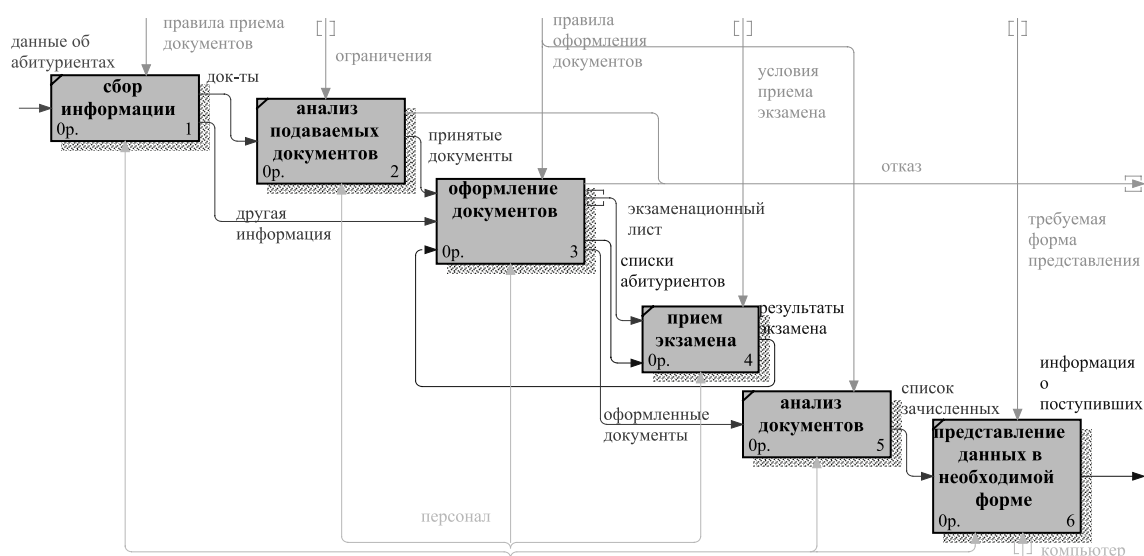


Рис. 4. Диаграмма декомпозиции БД «Абитуриент»

мени, которые обычно происходят при согласовании моделей со специалистами предметной области. Кроме того, использование этих инструментов дает возможность получить набор полностью документированных и согласо-

ванных моделей, что в значительной степени облегчит поддержку созданных систем в будущем, а также может быть повторно использовано при разработке других систем.

### Литература

1. Автоматизированная система управления качеством вуза // ИГЭУ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.isuct.ru/konf/kachestvo/reshma1.pdf>
2. Корохова Е.В., Фоменко Е.С., Козуб Ю.А. Анализ и проектирование базы данных «Абитуриент» // Современные информационные технологии в образовании [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://window.edu.ru/window\\_catalog/files/r51206/tez\\_2005.pdf](http://window.edu.ru/window_catalog/files/r51206/tez_2005.pdf)
3. Чурсин А.В., Бордюгов А.С. Система генерации расписания занятий факультета высоких технологий // Современные информационные технологии в образовании [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://window.edu.ru/window\\_catalog/files/r51206/tez\\_2005.pdf](http://window.edu.ru/window_catalog/files/r51206/tez_2005.pdf)



## Повышение эффективности аэрокосмических тренажеров для подготовки космонавтов к действиям в чрезвычайных ситуациях

Кузнецов Б.В., студент

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Прошкин В.Н.

Пензенская государственная технологическая академия

### Введение

В настоящее время известно множество способов моделирования психофизиологических эффектов в обучающих тренажерах [1], согласно которым вычисляют в реальном времени параметры поведения объекта, синтезируют в информационных каналах психофизиологические эффекты и преобразуют их в ощущения пространственного движения, визуальной внутрикабинной и внекабинной информации, слуховой (шумовой, речевой), тактильно-кинестетической информации (от органов управления).

Общим недостатком существующих способов моделирования является отсутствие воспроизведения некоторых психофизиологических ощущений дискомфорта, возникающих у экипажа в условиях реального полета, таких как: укачивание, затуманивание зрения, усталости, страха, тревоги, болевых ощущений, эйфории, нарушение чувства равновесия и т.п. Разработчики комплексных средств обучения считали невозможным с помощью технических средств имитировать полную информационную среду реальных условий, включая психофизиологическую напряженность персонала. Поэтому при моделировании экстремальных режимов работы объекта всегда имела место предметная неполнота, некая условность и отсутствие имитации эмоционального фона, что сказывалось на эффективности обучения, не обеспечивая возможность приобретения навыков, более высокого уровня для принятия правильных решений в штатных и аварийных режимах.

В процессе изучения информации по этой проблеме было выявлено, что профессиональная деятельность персонала, в том числе и космического экипажа, является разновидностью сложного умственного, нервно-эмоционального и физического труда, отличающегося большой психофизиологической напряженностью. По результатам экспертного опроса [2] были выделены четыре блока профессионально важных качеств:

- дисциплинарно-профессиональные (исполнительность, ответственность, трудолюбие, дисциплинированность, работоспособность и др.);
- специально-профессиональные качества (техническая культура, творческое мышление, способность предвидеть развитие ситуации, знания теоретического и практического характера и др.);
- организаторские (умение организовывать работу, требовательность, способность принимать осмысленные решения, навыки воспитательной работы и др.);
- психологические (целеустремленность, быстрота

принятия решений, эмоциональная устойчивость, инициативность, решительность, внимательность, самостоятельность и др.).

Следует отметить, что их формирование и оценка осуществляется непосредственно в процессе управления и эксплуатации с реального стратегически важного объекта. Анализ показывает, что первые три блока качеств интегрированы с психологическими качествами обучаемого и определяют не только поведение персонала в релевантной области, но и влияют на эффективность их деятельности.

Кроме того, в ходе исследований было выявлено, что большая часть психофизиологических ощущений испытываемых человеком на реальном объекте, вызвана действием инфразвукового поля, образуемого транспортным средством, которое выступает в роли своеобразного инфранизкочастотного акустического преобразователя [3...5]. Поэтому обучающие системы, к которым относится тренажер, должны обеспечить наиболее полную и точную имитацию информационной среды реального объекта, учитывая особенности функционирования различных анализаторов человека (слух, зрение, обоняние, тактильно-кинестетические, акселерационные и психофизиологические ощущения и т.д.) [1].

Принимая во внимание эти важные составляющие в системе подготовки космического экипажа, нами разработана модель тренажера с более высокой обучающей эффективностью, за счет дополнительного воспроизведения новых информационных потоков, которые имеют место на реальных объектах с учетом реализации человеческого фактора на более высоком качественном уровне. Все это, в конечном итоге, будет способствовать укреплению доверия к тренажеру в целом, подтверждая правильность и подобие его характеристик реальному объекту. За основу предлагаемой модели взят способ моделирования психофизиологических эффектов в тренажере транспортных средств [6].

### Описание

На рисунке 1 приведена структурная схема устройства, реализующая способ моделирования психофизиологических эффектов на аэрокосмическом тренажере. В состав тренажера входят:

- имитатор 1 параметров поведения реального объекта (ИППРО);
- пульт 2 инструктора (ПИ);
- имитатор 3 акселерационного воздействия (ИАВ);
- имитатор 4 слуховой информации (ИСИ);

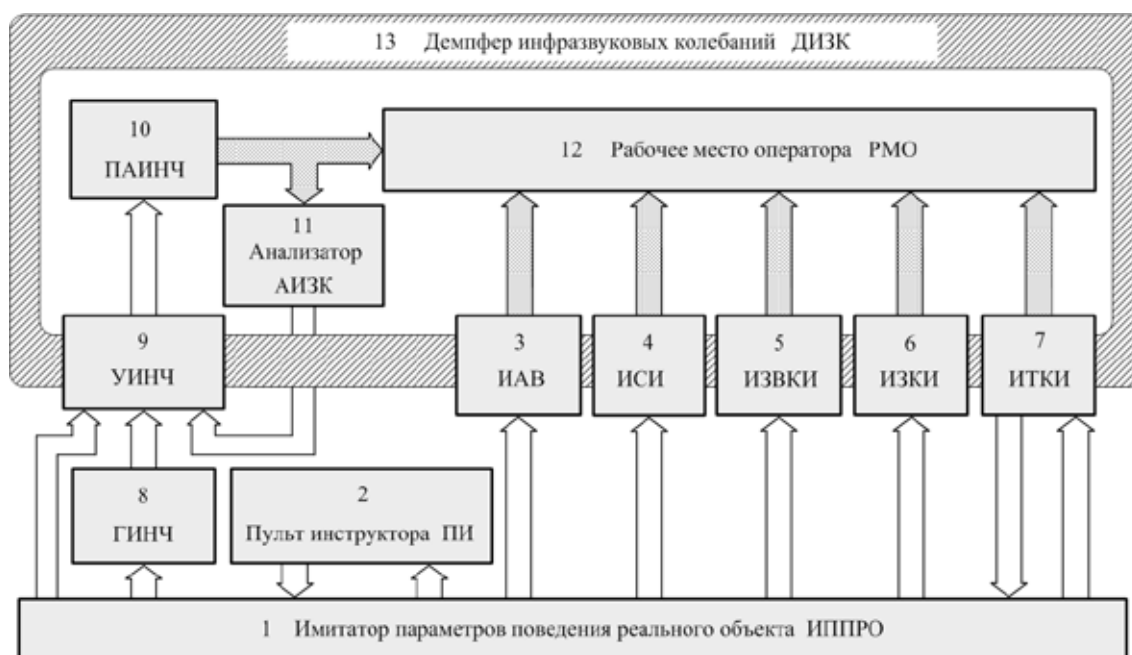


Рис. 1. Структурная схема тренажера

- имитатор 5 зрительной внекабинной информации (ИЗВКИ);
- имитатор 6 зрительной внутрикабинной информации (ИЗКИ);
- имитатор 7 тактильно-кинестетической информации (ИТКИ);
- генератор 8 инфра-низкочастотных (ГИНЧ);
- регулируемый усилитель 9 интенсивности инфра-низкочастотный (УИНЧ);
- преобразователь 10 акустический инфра-низкочастотный (ПАИНЧ);
- анализатор 11 инфразвуковых колебаний (АИЗК);
- рабочее место 12 оператора (РМО);
- демпфер 13 инфразвуковых колебаний (ДИЗК).

В процессе выполнения тренировочного задания оператор 12 воздействует на органы управления, расположенные в имитаторе 7 тактильно-кинестетической информации. При этом электрические сигналы, сформированные в имитаторе 7 по шине данных, поступают в имитатор 1 параметров поведения реального объекта. Имитатор 1 представляет собой комплекс вычислительных и программных средств, с помощью которых обеспечивается решение уравнений для моделирования в реальном масштабе времени работы имитатора поведения реального объекта, например аэрокосмического средства, вычисление динамических, аэродинамических и других коэффициентов, кинематических соотношений, логических и дифференциальных уравнений, описывающих динамику поведения имитируемого объекта и его бортовых систем.

По сигналам, полученным с имитатора 7 тактильно-кинестетической информации, имитатор 1 синтезирует параметры режима работы реального объекта и по шинам данных воздействует на имитаторы 3...7, пульт 2 инструктора,

генератор 8 инфра-низкочастотный, регулируемый усилитель 9 интенсивности инфра-низкочастотный. В ответ на эти сигналы:

- имитатор 3 акселерационного воздействия, по программе синтеза имитации ощущения движения с помощью динамического стенда, воздействует на оператора 12 и создает у него иллюзию пространственного перемещения;
- имитатор 4 слуховой информации синтезирует звуковые сигналы и воздействует на органы слуха оператора 12, создавая у него иллюзию о работе двигателей, агрегатов внутреннего оборудования, имитируемого объекта, шумовой внекабинной и внутрикабинной обстановки и т.п.;
- имитатор 5 зрительной внекабинной информации генерирует изображения внекабинной обстановки, создавая у оператора 12 иллюзию зрительного присутствия в некотором пространстве;
- имитатор 6 зрительной внутрикабинной информации выдает оператору 12 информацию о параметрах движения имитируемого объекта с помощью бортовых приборов и индикаторов;
- имитатор 7 тактильно-кинестетической информации обеспечивает реалистические характеристики ощущения усилий на органах управления в зависимости от имитируемой обстановки;
- пульт 2 инструктора выдает инструктору информацию о работе систем имитируемого объекта, действиях оператора 12 в текущий момент времени, по которым, в дальнейшем дается объективная оценка о его профессиональной подготовке. В процессе выполнения тренировочного задания, инструктор, не предупреждая оператора 12, вводит с пульта 2 на вход имитатора 1 различные аварийные внештатные ситуации, которые могут иметь место на реальном объекте;

- инфра-низкочастотный акустический преобразователь 10 преобразует электрические сигналы, поданные на его вход с регулируемого усилителя 9 в инфразвуковые колебания. Частота и интенсивность этих колебаний определяется состоянием электрических сигналов на входах генератора 8 и усилителя 9;

- анализатор 11 осуществляет непрерывный контроль временных, энергетических и частотных характеристик инфразвуковых колебаний источника 10. При достижении или превышении предельного значения уровня интенсивности инфразвука, формируется аварийный сигнал, который подается на регулируемый вход усилителя 9 и уменьшает коэффициент усиления до безопасного значения. Требования к эффективности работы акустической системы в тренажере определяет жесткие нормы на параметры их качества, которые должны соблюдаться в течение всего срока эксплуатации. Из разнообразия таких систем наиболее приемлемым является магнитоотражательный преобразитель параметров движения акустической колебательной системы ПАИНС 10.

Для ограничения воздействия инфразвука на окружающую обстановку кабину тренажера с рабочим местом оператора 12, анализатором 11 с источником 10 помещают в демпфер 13.

### Заключение

Предложенный способ моделирования также может быть применен для подготовки операторов объектов стратегического назначения, работа которых связана с нервно-

психологическим напряжением, требуют высокого уровня эмоционально-волевых качеств, памяти, восприятия, физической и психологической выносливости. Многоплановое воздействие имитатора на оператора обеспечивает возможность оптимизировать психофизиологическое состояние обучаемого персонала, повышает его профессионально важные качества необходимые для работы в нормальных и экстремальных условиях.

В ходе проведения научно-исследовательской работы студентов по данной тематике на кафедре «Автоматизация и управление» Пензенской государственной технологической академии были получены следующие наиболее значимые результаты:

- подана заявка на предполагаемое изобретение, по которой получен патент РФ [6];
- диплом лауреата в номинации «Интеллектуальные тренажеры и тренажерные комплексы» во Всероссийском смотре-конкурсе научно-технического творчества студентов высших учебных заведений «Эврика-2007», г. Новочеркасск;
- медаль «За успехи в научно-техническом творчестве» по номинации «Лучший научно-исследовательский проект в области технических наук» по проекту «Исследование и разработка автоматизированной системы управления аэрокосмическим тренажером» во Всероссийском конкурсе молодежных проектов и программ (выставка «НТТМ июнь 2009» г. Москва).
- диплом победителя конкурса «Участник Молодежного Научно-Инновационного Конкурса» (У.М.Н.И.К. — 2010).

### Литература

1. Л.А. Прошкина Совершенствование управления предприятиями авиационного тренажеростроения в условиях модернизации экономики: монография. — Пенза, ПГУ, 2008. — 156 с.
2. Самолаев Ю.Н. Классификация профессионально важных качеств авиационного специалиста. IV Всероссийская научно-методическая конференция «Тренажеры и компьютеризация профессиональной подготовки» ГАНГ им. И.М. Губкина — Москва, 1994. — С. 14—16.
3. Н.Ф. Измеров и др. Инфразвук как фактор риска здоровью человека (гигиенические, медико-биологические и патогенетические механизмы) — Воронеж, 1998. — 276 с.
4. Е.Е. Новогрудский и др. Инфразвук: враг или друг. — М.: Машиностроение, 1989. — 64 с.
5. Б.Л. Покровский Летчику о психологии. — М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1974. — 83 с.
6. Патент 2369909 РФ. МКИ: G09B9/00. Способ для моделирования психофизиологических эффектов в тренажере и устройство для его реализации / В.Н. Прошкин и др. // Опубл. 10.10.09 Бюл. № 28.

## Открытая реляционная модель данных технологических возможностей промышленных предприятий

Курочкин Л.М., начальник отдела АСУ УМУ

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Проектирование технологических процессов обработки деталей представляет собой сложную, трудоемкую и многовариантную задачу. Правильное решение удастся

получить после разработки и сравнения нескольких технологических вариантов. При проектировании технологических процессов для действующего производства

необходимо располагать информацией об имеющемся оборудовании, площадях и иных производственных условиях. Особое внимание уделяется возможности улучшения технологичности конструкции детали, которая определяет её трудоемкость и себестоимость. Оптимизацию проектируемых и действующих технологических процессов производят по различным целевым функциям (минимальной себестоимости изготовления детали, максимальной производительности обработки и др.). Оптимальное решение строится на множестве всевозможных комбинаций использования оборудования одного или нескольких предприятий. Сегодня, технолог не имеет полной информации о технологических возможностях оборудования предприятий региона и поэтому ограничивается сравнением нескольких вариантов построения технологического процесса на одном предприятии. Предоставление технолог оперативного доступа к полной информации о технологических возможностях (ТВ) предприятий региона позволяет существенно увеличить число вариантов реализации технологических задач и повысить эффективность производства.

Повышение эффективности производства в первую очередь связано с сокращением времени поиска технологичного и рационального технологического решения. Повышение эффективности технологической подготовки производства возможно за счёт расширения информационного обеспечения АСТПП сведениями о технологических возможностях предприятий региона и реализации методов поиска вариантов построения технологического процесса.

Основными показателями технологичности являются использование высокопроизводительного оборудования, себестоимость, станкочёмкость изготовления детали.

Сокращение времени построения технологичных решений возможно при организации интерактивной среды, предоставляющей инженеру-технологу необходимую информацию и расширяющий диапазон его производственных возможностей. Предоставляя технолог оперативный доступ к технологическим возможностям современного высокопроизводительного оборудования, методам подготовки произвольного технологического процесса, методам расчета целевых функций вариантов реализации технологического процесса, наборам унифицированных конструктивных решений можно существенно снизить затраты как на этапе проектирования, так и этапе изготовления деталей и узлов. Включая в информационное обеспечение данные об оборудовании предприятий целого региона можно решить ряд сопутствующих задач: повышение загрузки дорогостоящего оборудования, планирования инвестиций, модернизации станочного парка, специализации производства, развития инфраструктуры региона.

Решение перечисленных задач предполагает создание распределённой автоматизированной системы эффективной организации технологической подготовки машиностроительного производства (РСТПП), которая в

отличие от известных АСТПП реализует концепцию универсального представления данных о ТВ предприятий, обладающих оборудованием разного типа [1].

Главной задачей при создании РСТПП, поддерживающей автоматический многокритериальный поиск потенциальных исполнителей заказа, является разработка модели данных в форме реляционных отношений, реализующей принцип открытости и функциональной целостности [2,3], позволяющей описать технологические возможности предприятий и производственные заказы, расширить класс представленного оборудования, его свойств и атрибутов, технологических возможностей предприятий.

Основой для создания реляционной модели становится концептуальная модель данных (рис. 1) отличающаяся от традиционных моделей, применяемых в АСТПП, реализацией объектного подхода к представлению данных о технологических возможностях. Пять уровней детализации позволяют описать характеристики оборудования до уровня значений атрибутов технологических переходов и, таким образом, указать его специализацию. Именно это отличие предлагаемой модели и определяет основу для методов поиска исполнителя заказа. Описание заказа имеет подобный уровень детализации, что позволяет разрабатывать алгоритмы поиска и их реализацию.

Для создания реляционной модели данных необходимо сформировать проблемно-ориентированный язык, структуры данных которого определяются реляционными отношениями и функциональными зависимостями на несущем множестве реляционной алгебры  $Rel(T)$ , а множество операций определяется комбинацией операторов реляционного исчисления.

Операторы проблемно ориентированного языка обеспечивают управление двухуровневой надреляционной структурой данных: открытым классификатором оборудования; описанием единиц оборудования и технологических процессов.

Определим набор операций управления открытым классификатором оборудования системы мониторинга технологических компетенций. Классификатор содержит метаданные — описания атрибутов переходов и описаний технологических переходов. На основе фиксированного набора переходов формируются описания оборудования и технологических процессов, к которым добавляются значения фактических параметров переходов. Открытость классификатора предполагает расширение как числа атрибутов, так и набора переходов в системе.

Покажем, что описания технологических переходов в описании оборудования предприятия и описаний технологических переходов производственного заказа могут быть сравнимы между собой, так как на них определены операции эквивалентности и частичного порядка.

Доказательство утверждения сравнимости экземпляров технологических переходов в описаниях единиц оборудования и технологических процессах основано на реляционной полноте операций проблемно-ориентиро-

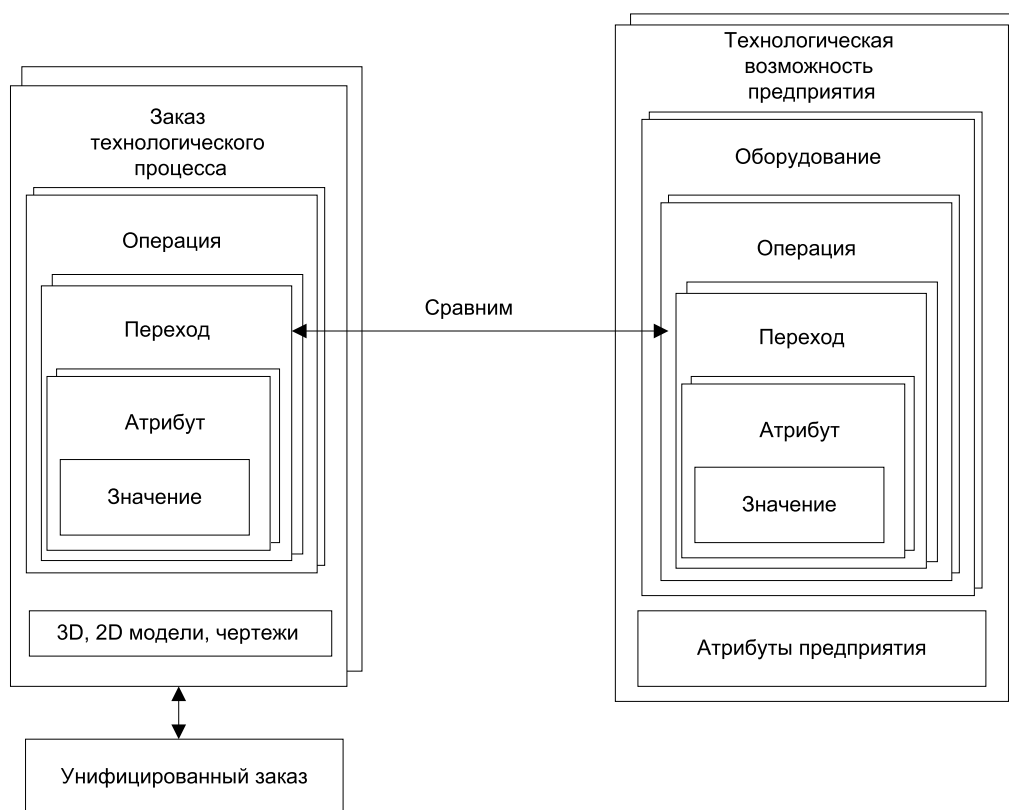


Рис. 1. Концептуальная модель данных описания технологических возможностей

ванного языка, определения отношений эквивалентности и частичного порядка на доменах технологических переходов.

Определим атрибут технологического перехода как реляционное отношение  $P(p_{name}, p_{inf}, p_{type})$ , которое определяется своим именем  $p_{name}$  на домене  $D(p_{name})$ , типом единицы измерения  $p_{inf}$  на домене  $D(p_{inf})$  и описанием способа представления значений  $p_{type}$ , домен которого содержит признаки перечислимого (*enum*), интервального (*int*) и скалярного типа (*val*). Атрибуты технологического перехода образуют динамически пополняемый перечислимый домен  $D(P)$ .

На множестве атрибутов технологических переходов определены отношения частичного порядка «лучше или равен», и отношение эквивалентности «равен».

Утверждение 1: два атрибута технологического перехода сравнимы относительно отношения частичного порядка «лучше или равен», если их имена  $p_{name}$  и типы единиц измерения  $p_{inf}$  совпадают.

Утверждение 2: два атрибута технологического перехода  $p1$  и  $p2$  равны, если они сравнимы, а значения параметров:

- интервального типа: верхние и нижние границы интервалов равны;
- перечислимого типа: число элементов и их наименования совпадают;
- скалярного типа: значения равны.

Утверждение 3: атрибут технологического перехода  $p1$  «лучше или равен» атрибуту технологического перехода

$p2$ , если они сравнимы, а значения параметров для:

- интервального типа: интервал  $p1$  лежит внутри интервала  $p2$ ;
- перечислимого типа: все элементы  $p2$  содержатся в  $p1$ ;
- скалярного типа: значение  $p2$  «лучше или равно» значению  $p1$ .

Тогда технологический переход  $T(t_{name}, P, V)$  является реляционным отношением, кортежи которого содержат уникальное имя перехода  $t_{name}$ , наборы атрибутов  $P$  и значений параметров  $V$  — связанных с атрибутами значений типизированных относительно  $p_{type}$ .

На множестве экземпляров технологических переходов определены операции эквивалентности и частичного порядка «равно» и «лучше и равен» соответственно.

Утверждение 4: Технологические переходы  $T1$  и  $T2$  сравнимы, если число атрибутов переходов равно, и атрибуты с равными  $p_{name}$  сравнимы.

Утверждение 5: Технологические переходы  $T1$  и  $T2$  «эквивалентны», если они сравнимы и их параметры с равными  $p_{name}$  равны.

Утверждение 6: Технологический переход  $T1$  «лучше или равен»  $T2$ , если они сравнимы, а их атрибуты с равными  $p_{name}$  «лучше или равны».

Основываясь на реляционной алгебре  $Rel(T)$ , определим на множестве экземпляров технологических переходов полнофункциональный набор операторов: добавления  $QT(add)$ , удаления  $QT(del)$ , извлечения  $QT(sel)$  и сравнения  $QT(check)$  технологических переходов. Опе-



ратор «Извлечение данных о технологических переходах» QT(sel).

Дано  $t_{name}$  — первичный ключ технологического перехода.

Результат: Две композиции универсальных отношений, содержащие набор атрибутов  $P(sel)(p_{name}, p_{inf}, p_{type})$  и набор значений параметров  $V(sel)(p_{name}, v_{val}, v_{int}, v_{enum})$  для технологического перехода с ключом  $t_{name}$ .

Утверждение 7: время извлечения композиций данных экземпляра технологического перехода линейно зависит от числа атрибутов в нём.

Оператор «Добавление технологического перехода» QT(add):

Дано:  $t(P\{p_1, p_2, \dots, p_n\}, V\{v_1, v_2, \dots, v_n\})$  — переход с набором атрибутов и значениями параметров переходов.

Результат: добавление перехода  $T(t_{name}, P, V)$  в реляционную схему. Псевдокод реализации оператора:

Начало.

Для всех  $P_i$  от 1 до  $n$  выполнить

Insert( $T$ ); Insert( $P_i$ ) ->  $P$ ; Insert( $v_i$ ) ->  $V$ ;

Конец.

Утверждение 8: время добавления технологического перехода в реляционную схему  $T(t_{name}, P, V)$  линейно зависит от числа атрибутов  $P$ .

Оператор «Удаление технологического перехода» QT(del).

Дано:  $t_{name}$  — имя перехода с набором атрибутов и значениями параметров переходов.

Результат: удаление перехода из реляционной схемы  $T(t_{name}, P, V)$ . Псевдокод реализации оператора:

Начало.

Для всех  $P_i$  от 1 до  $n$  выполнить

Del( $P_i$ ) ->  $P$ ; Del( $v_i$ ) ->  $V$ ;

Конец.

Утверждение 9: время удаления технологического перехода из реляционной схемы  $T(t_{name}, P, V)$  линейно зависит от числа атрибутов перехода  $P$ .

Оператор «Сравнение технологических переходов» QT(check).

Дано  $t_{name1}, t_{name2}$  — первичные ключи экземпляров технологических переходов с набором атрибутов и значениями параметров переходов.

Результат: Flag{«Не сравнимы», «Сравнимы», «Равны», «Лучше или равны»} — определение истинности отношения эквивалентности и частичного порядка для технологических переходов с ключами  $t_{name1}$  и  $t_{name2}$ . Псевдокод реализации оператора:

Начало.

Flag = «Не сравнимы»;

temp( $t_2(p)$ ) =  $t_2(P)$ ;

Для всех  $t_1(P_i)$  от 1 до  $n$

Найти соответствие в temp( $t_2(p)$ );

Исключить из temp( $t_2(P)$ );

Если все соответствия найдены и temp( $t_2(P)$ ) пусто

Flag = «Сравнимы»;

Для всех  $t_1(P_i)$  от 1 до  $n$

Сравнить  $t_1(P_i)$  «равен»  $t_2(P_i)$ ;

Если не равны Flag = «Не равны»;

Сравнить  $t_1(P_i)$  «больше или равен»  $t_2(P_i)$ ;

Если больше или равны Flag = «Больше ли равен»;

Иначе Flag = «Не равны»; Exit;

Иначе

Flag = «Равны»;

Конец.

Сравнение отношений  $t_1$  и  $t_2$  осуществляется на основе двух композиции отношений: набора атрибутов  $P(sel)(t_i)$  и значений параметров  $V(sel)(t_i)$  по первичным и внешним ключам получаемых после выполнения операций  $Q(sel)(t_1)$ ,  $Q(sel)(t_2)$ .

Утверждение 10: операция сравнения технологических переходов выполняется за линейное время от числа атрибутов в переходе.

Сформируем описание единицы оборудования, как совокупности оборудования с индивидуальными значениями атрибутов и технологического процесса как совокупности переходов с индивидуальными значениями атрибутов. В качестве описания оборудования принимаются имена атрибутов технологических переходов в реляционном отношении  $T(t_{name}, P, V)$ , а в качестве значений — значения экземпляров этих отношений.

Определим модель единицы оборудования, как реляционное отношение  $S(s_{name}, T, V_s)$ , где  $V_s$  — множество значений атрибутов переходов оборудования,  $s_{name}$  — уникальное имя оборудования. Все отношения  $S$  принадлежат домену  $D(S)$ .

На множестве единиц оборудования определены отношения эквивалентности «технологически идентичны» и частичного порядка «лучше или такой же».

Утверждение 11: две единицы оборудования  $s_1$  и  $s_2$  сравнимы относительно операции частичного порядка «лучше и такой же», если число их технологических переходов одинаково, а сами технологические переходы сравнимы по утверждению 6.

Утверждение 12: две единицы оборудования  $s_1$  и  $s_2$  «технологически идентичны», если они сравнимы и технологические переходы относительно утверждения 5 эквивалентны.

Утверждение 13: единица оборудования  $s_1$  «лучше или такая же» как  $s_2$ , если они сравнимы и все технологические переходы  $P(s_1)$  «лучше или равны»  $P(s_2)$ .

Определим операторы извлечения  $Q(sel)(s)$ , добавления  $Q(add)(s)$ , удаления  $Q(del)(s)$ , и сравнения двух единиц оборудования  $Q(check)(s)$ .

Оператор «Извлечение данных о единице оборудования»  $Q(sel)(s)$ .

Дано:  $s_{name}$  — имя единицы оборудования.

Результат: универсальное отношение  $S(s_{name}, T, V)$  при условии  $s_{name}$ .

Оператор «Добавление единицы оборудования»  $Q(add)$ .

Дано:  $s(s_{name}, T\{t_1, t_2, \dots, t_n\}, V_s\{vs_1, vs_2, \dots, vs_n\})$  — описание единицы оборудования с набором технологи-

ческих переходов  $T$  и значениями параметров переходов  $V_s$ .

Результат: добавление описания единицы оборудования  $s$  в реляционную схему. Псевдокод реализации оператора:

Начало.

Для всех  $T_i$  от 1 до  $n$  выполнить

Insert( $S$ ); Insert( $T_i$ )  $\rightarrow T$ ; Insert( $v_{si}$ )  $\rightarrow V_s$ ;

Конец.

Утверждение 14: время добавления описания единицы оборудования  $S(s_{name}, T, V)$  линейно зависит от числа технологических переходов в нём.

Оператор «Удаление единицы оборудования»  $Q(\text{del})$ .

Дано:  $s_{name}$  — имя единицы оборудования.

Результат: удаление описания единицы оборудования  $s$  из реляционной схемы. Псевдокод реализации оператора:

Начало.

$S(\text{sel})(S_{name}) \rightarrow S(s_{name}, T, V)$ ;

Для всех  $T_i$  от 1 до  $n$  выполнить

Del( $T_i$ )  $\rightarrow T$ ; Del( $v_{si}$ )  $\rightarrow V_s$ ; Del( $S_{name}$ );

Конец.

Утверждение 15: время удаления описания единицы оборудования  $S(s_{name}, T, V)$  линейно зависит от числа технологических переходов в нём.

Операция «Сравнение единиц оборудования  $S_1$  и  $S_2$ »  $Q(\text{check})(s)$ .

Дано  $s_{name1}, s_{name2}$  — первичные ключи описаний единиц оборудования.

Результат: Flag{«Не сравнимы», «Сравнимы», «Равны», «Лучше или равны»} — определение истинности отношения эквивалентности и частичного порядка для технологических переходов с ключами  $s_{name1}$  и  $s_{name2}$ . Псевдокод реализации операции:

Начало.

Flag = «Не сравнимы»;

temp( $s_2(t)$ ) =  $s_2(t)$ ;

Для всех  $s_1(T_i)$  от 1 до  $n$

Найти соответствие в temp( $s_2(N)$ );

Исключить из temp( $s_2(N)$ );

Если все соответствия найдены и temp( $s_2(T)$ ) пусто

Flag = «Сравнимы»;

Для всех  $s_1(i)$  от 1 до  $n$

Сравнить  $s_1(P_i)$  «равен»  $s_2(P_i)$ ;

Если не равны Flag = «Не равны»;

Сравнить  $s_1(P_i)$  «больше или равен»  $s_2(P_i)$ ;

Если больше или равны Flag = «Больше ли равен»;

Иначе Flag = «Не равны»; Exit;

Иначе

Flag = «Равны»;

Конец.

Утверждение 16: Основываясь на технологии выполнения операций естественного соединения и проекции реляционного исчисления, время выполнения операции сравнения моделей оборудования линейно зависит от числа технологических переходов единицы оборудования.

В общем случае сравнение оборудования относительно утверждения 13 является избыточным, и следует определить дополнительное отношение частичного порядка  $T(P(\text{res}), V(\text{res}))$  «выполняется на»  $s_{type}$ .

Утверждение 17: если все атрибуты  $P(\text{res})$  сравнимы с атрибутами  $P(\text{stype})$  и все технологические переходы  $T(\text{stype})$  «не хуже чем»  $T(\text{res})$ , то переходы выполняются на данной модели.

Введём операцию  $QP(\text{check})(s)$  — сравнения произвольного набора технологических переходов  $T(P(\text{res}), V(\text{res}))$  с технологическими переходами оборудования  $stype$ .

Тогда процесс сравнения набора технологических переходов относительно единицы оборудования определяется следующим образом:

Дано:  $s(s_{name}, T_s, V_s)$  — ,  $T(P_t, V_{res})$

Результат: Flag{«Выполняется», «Не выполняется»} проверка истинности отношения частичного порядка «выполняется на». Псевдокод реализации операции:

Начало.

Flag = «Выполняется»;

Для каждого  $T_{ii} = 1$  до  $n$

Найти  $T_s$  из  $s$ ;

Если  $T_{inot}$  «выполняется» на  $T_s$ ;

Flag = «Не выполняется»; Exit;

Конец.

Утверждение 18: время проверки возможности выполнения технологического перехода  $T(\text{res})$  на единице оборудования  $stype$  составляет  $O(n^2)$  от числа технологических переходов.

Совокупность оборудования предприятия определяется, как реляционное отношение  $E(s_{name}, s_e, e_{name})$ , где  $s_{name}$  — идентификатор оборудования,  $e_{name}$  — идентификатор предприятия,  $s_e$  — описание единицы оборудования со значениями  $V_s$  — оборудования  $s_{name}$  предприятия  $e_{name}$ . При этом технологические возможности оборудования, могут быть представлены в виде  $K = E(S_{name}, S_e, S_{name}) \triangleright \triangleleft S(s_{name}, T, V_s) \triangleright \triangleleft T(t_{name}, P, V_s) \triangleright \triangleleft P(p_{name}, p_{inf}, p_{type})$

Представив описание технологического процесса в виде реляционного отношения  $R(T, V_r)$ , где  $T$  — технологические переходы описания технологического процесса, а  $V_r$  — множество значений атрибутов переходов описания технологического процесса, набор операций  $P$  принадлежит домену  $D(P)$  с согласованными наборами типов и значений параметров  $V_r$ , получим возможность представления конкретного производственного заказа в виде:  $L = R(T, V_r) \triangleright \triangleleft T(t_{name}, P, V_r) \triangleright \triangleleft P(p_{name}, p_{inf}, p_{type})$ .

Тогда операция поиска  $Seek(R, P)$  технологического процесса на наборах оборудования определяется, как процесс выбора оборудования, выполняющего заданный переход ТП согласно критерию (например) использования наименьшего числа моделей оборудования:  $Seek(R, P) = L \triangleright \triangleleft K \mid \min(count(\sigma_{(S=S_{name})}(K)))$ .

Сформированный на основании представленных утверждений и операторов набор операций является доста-

точным для реализации модуля поиска потенциальных исполнителей производственного заказа распределённой системы поддержки интеграции технологических возможностей. Предложенная модель данных обеспечивает информационную целостность системы. Введение операции

сравнения для предложенной модели данных теоретически обосновывает возможность разработки и реализации алгоритмов поиска исполнителей производственного заказа среди участников распределённой системы интеграции производственных возможностей.

### Литература

1. Курочкин Л.М. Расширение интеграции информационного обеспечения предприятия. // XVIII Международная научно-методическая конференция «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовании и науке» 17–18 февраля 2011 года, Санкт-Петербург. Том 1. — СПб.: Издательство Политехнического университета — 2011. — с. — 179–181
2. Майер Д. Теория реляционных баз данных. М.: Мир, 1987. 608 с.
3. Базы данных: проектирование, реализация, сопровождение / Т.Конноли [и др.]. — М.: Вильямс, 2000. — 1120 с.

## Применение методов кластеризации для обработки новостного потока

Кутуков Д.С., студент

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

*В данной работе рассматривается задача выделения сюжетов и тем из потока новостных сообщений. Для решения данной задачи используется кластеризация полнотекстовых статей. Кратко рассматриваются различные типы алгоритмов кластеризации в зависимости от модели представления коллекции объектов: статические, инкрементальные и онлайн-овые. Дается описание системы новостного онлайн-агрегатора, разработанного на базе поисковой системы. Данная система осуществляет сканирование и кластеризацию статей нескольких интернет-изданий. Рассматриваются использованные подходы к решению проблемы разбиения новостей на связанные по сюжету группы, эффективность использованных алгоритмов и варианты дальнейшего развития системы.*

В связи с развитием глобальной сети Интернет в целом и онлайн-ресурсов средств массовой информации в частности значительно возросли объемы информации, с которыми приходится работать конечному пользователю. Это зачастую осложняет задачу поиска актуальной информации среди новостных статей. Другой задачей информационной системы является представление пользователю статей из нескольких источников, написанных об одном и том же событии или персонаже, например, для более обширного представления точек зрения на происходящее.

В данной работе для решения указанных задач рассматриваются методы *кластеризации* для разбиения статей из поступающего новостного потока на отдельные группы. Эти группы схожих новостных статей могут представлять собой отдельные темы, категории или события. Кластеризация используется в большинстве современных информационно-поисковых систем, обрабатывающих потоки новостных статей. Объединение схожих статей в кластеры делает интерфейс новостной системы более понятным и повышает эффективность работы пользователя с ней. В ходе работы была разработана система, которая периодически извлекает статьи с серверов различных новостных интернет-агентств и автоматически разделяет их на кластеры схожих документов.

### Кластеризация

Кластеризация — разбиение множества объектов на группы (*кластеры*), основываясь на свойствах этих объектов. Кластер представляет собой группу объектов, имеющих общие признаки. Целью алгоритмов кластеризации является создание классов, которые максимально связаны внутри себя, но различны друг от друга. Таким образом, характеристиками кластера можно назвать два признака:

- внутренняя однородность — документы внутри одного кластера должны быть максимально схожи между собой;
- внешняя изолированность — документы из одного кластера должны быть как можно меньше схожи с документами из другого кластера.

Кластеризация является примером стратегии «обучение без учителя», то есть занесение конкретного документа в тот или иной кластер происходит автоматически, без участия эксперта-человека. В кластеризации содержание кластеров определяется только распределением и структурой данных. В этом состоит главное отличие кластеризации данных от другой задачи — *классификации данных (Classification)* — также широко распространенной в информационном поиске. Классификация пред-

ставляет собой «обучение с учителем»: его цель — группировка документов по заранее заданным параметрам, признакам — *рубрикам*. При кластеризации такие параметры изначально не заданы, объединение происходит полностью автоматически.

В данной статье рассматриваются различные методы кластеризации: статической, инкрементальной и онлайн-кластеризации. Последняя применяется в разработанной системе новостного онлайн-агрегатора.

### Статическая кластеризация

Статическая кластеризация — разбиение изначально известного множества объектов, которое не изменяется до конца работы кластеризации. На статические алгоритмы кластеризации не накладываются ограничения по использованию памяти или количеству проходов по множеству документов.

Формально определим задачу кластеризации следующим образом. Пусть  $X$  — множество объектов,  $Y$  — множество номеров (имён, меток) кластеров. Задана функция расстояния между объектами  $\rho(x_1, x_2)$ . Имеется конечная обучающая выборка объектов  $X^m = \{x_1, \dots, x_m\} \in X$ . Требуется разбить выборку на непересекающиеся подмножества, называемые *кластерами*, так, чтобы каждый кластер состоял из объектов, близких по метрике  $\rho$ , а объекты разных кластеров существенно отличались. При этом каждому объекту  $x_i \in X^m$  приписывается номер кластера  $y_i$ .

Далее рассматриваются наиболее распространенные алгоритмы статической кластеризации данных.

### Алгоритм k-means

Цель алгоритма k-means — минимизировать среднее арифметическое сумм квадратов расстояний от каждого документа кластера до его центра, называемого *центроидом*  $\vec{\mu}$  кластера  $\omega$ :

$$\vec{\mu}(\omega) = \frac{1}{|\omega|} \sum_{\vec{x} \in \omega} \vec{x}$$

Предполагается, что документы представлены в виде векторов в пространстве термов, нормализованных по длине.

Показателем того, насколько хорошо центроиды отражают содержимое кластеров, является *остаточная дисперсия* (*residual sum of squares, RSS*), вычисляемая как сумма квадратов расстояний между документами кластера и его центроидом:

$$RSS_k = \sum_{\vec{x} \in \omega_k} |\vec{x} - \vec{\mu}(\omega_k)|^2$$

$$RSS = \sum_{k=1}^K RSS_k$$

$RSS$  является целевой функцией в алгоритме K-средних, и задача сводится к ее минимизации.

### Иерархический агломеративный алгоритм

*Агломеративный метод* производит кластеризацию «снизу-вверх»: на первом этапе все документы коллекции представляются как одиночные кластеры, затем происходит слияние пар наиболее схожих по содержанию кластеров, и так до тех пор, пока не образуется один большой кластер, содержащий все документы. Таким образом, выстраивается бинарное дерево, листья которого — документы исходной коллекции. Пример подобной кластеризации приведен на рис. 1.

Для объединения кластеров документов необходимо выбрать правило вычисления расстояния между кластерами. Существует 4 базовых правила: *метод ближайшего соседа* (*single-link*), *метод наиболее удаленного соседа* (*complete-link*), *попарное среднее* (*group-average*), *метод центроидов* (*centroid clustering*).

### Минимальное остовное дерево

Данный метод кластеризации основывается на известной задаче теории графов — построении *минимального остовного дерева* (*MST, minimum spanning tree*). Исходную коллекцию документов мы представляем как граф, где вершины — документы, а дуги — всевозможные пары документов, вес которых равен расстоянию между их векторными представлениями. Далее по одному из известных алгоритмов строится минимальное остовное дерево, причем при выборе алгоритма необходимо учитывать большое количество дуг в графе (при  $N$  документах в коллекции —  $N \cdot (N - 1)$  дуг). После построения дерева идет процесс удаления ребер с наибольшими длинами, в результате чего образуется лес более маленьких деревьев, из узлов которых и генерируются кластеры.

### Алгоритм DBSCAN

Суть алгоритма DBSCAN заключается в обнаружении кластеров на основе предположения о том, что внутри каждого кластера наблюдается типичная плотность объектов, которая значительно выше плотности объектов за пределами кластера. Более того, плотность в областях шума ниже, чем плотность в любом из кластеров. Эта интуитивная нотация «кластеров» и «шума» формализуется для данных в некотором многомерном пространстве, следуя ключевой идее: для каждого объекта кластера соседство заданного радиуса должно содержать, по крайней мере, минимальное количество объектов, т.е. плотность в соседстве должна превышать некоторое пороговое значение. Таким образом, анализируя плотность соседства каждого объекта, исследуется все пространство объектов, а те объекты, которые не вошли ни в один из кластеров, объявляются шумом.

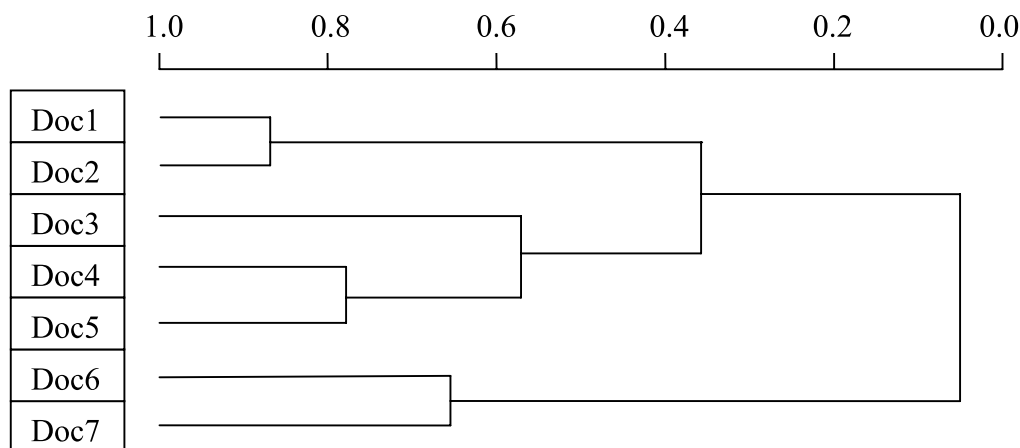


Рис. 1. Агломеративная кластеризация документов

### Инкрементальная кластеризация

Методы статической кластеризации требуют возможности произвольного доступа к документам и их содержанию. Однако, в связи с возросшими в последнее время объемами обрабатываемых данных, такое требование может привести к большим потерям в производительности приложений и времени обработки коллекций. Поэтому в ряде работ [6] [7] рассматриваются методы *инкрементальной кластеризации*. В них наборы данных представляются в виде *поточковой модели*.

Дадим формальную постановку задаче инкрементальной кластеризации по аналогии с задачей статической кластеризации. Пусть  $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$  — упорядоченная последовательность элементов множества  $X$ , считываемых в порядке увеличения индекса  $i$ . Требуется разбить выборку на непересекающиеся кластеры так, чтобы каждый кластер состоял из объектов, близких по метрике  $\rho$ , а объекты разных кластеров существенно отличались. При этом каждому объекту  $x_i$  приписывается номер кластера  $y_i$ .

Рассмотрим основные методы, разработанные для решения поставленной задачи инкрементальной кластеризации.

### Small-Space

Алгоритм Small-Space — простой алгоритм, использующий парадигму «разделяй и властвуй». Сначала мы разбиваем вся коллекция входящих данных  $S$  на  $m$  частей  $X_1, \dots, X_m$ . Затем каждый такой набор подвергается кластеризации с помощью алгоритма k-means, в результате чего мы находим  $O(k)$  центров в каждом наборе (например,  $2k$  — это число устанавливается при настройке алгоритма). После этого разбиваются на группы сами центры, число которых  $O(mk)$ , и каждому соответствует вес, равный числу документов в его кластере.

Проблемой этого алгоритма является то, что число  $m$

анализируемых подмножеств ограничено, так как необходимо хранить в памяти промежуточные центры, число которых  $mk$ . Если размер доступной памяти —  $M$ , тогда мы должны разбить множество  $S$  на  $m$  частей так, чтобы каждая помещалась в память, иными словами,  $n/m \leq M$ . Кроме этого, в памяти должны помещаться промежуточные центры, т.е.  $mk \leq M$ . Но такое число  $m$  не всегда существует.

### BIRCH

Алгоритм BIRCH используется для иерархической кластеризации больших наборов данных. Для каждого кластера вычисляется тройка его свойств  $CF = (N, LS, SS)$ , где  $N$  — количество документов в кластере,  $LS$  — их линейная сумма,  $SS$  — сумма их квадратов. Для всей коллекции данных и их разбиения на кластеры выстраивается  $CF$ -дерево — сбалансированное дерево с двумя параметрами: фактор ветвления  $B$  и пороговое значение  $T$ . Каждый промежуточный узел содержит не более  $B$  вхождений вида  $[CF_i, child_i]$ , где  $child_i$  — указатель на его  $i$ -й дочерний узел,  $CF_i$  — субкластер, представленный этим дочерним узлом. Листовой элемент содержит не более  $L$  вхождений вида  $[CF_i]$ . Размер дерева является функцией от  $T$ : чем больше  $T$ , тем меньше дерево. Значения  $B$  и  $L$  определяются  $P$ .

На первом шаге алгоритма сканируется вся коллекция документов и выстраивается первоначальное  $CF$ -дерево в памяти отведенного размера. На втором этапе просматриваются все листья с целью построения нового дерева с меньшим размером, за счет удаления шума (далеко удаленных документов) и слияния тесно расположенных субкластеров. Затем с помощью одного из известных статических алгоритмов осуществляется кластеризация листовых элементов. Например, удобно использовать иерархический агломеративный метод на субкластерах, представленных их  $CF$ -векторами, так как он позволяет пользователю задать или желаемое количество кластеров,



или желаемый порог для диаметров кластеров. Для устранения неточностей кластеризации может применяться дополнительный необязательный этап, на котором мы выделяем центроиды кластеров и перераспределяем документы по ближайшим к ним центроидам. В частности, этот шаг помогает избавиться от шума в кластерах.

### Онлайн-кластеризация

Все вышеупомянутые методы кластеризации работают с множеством документов, которое задано до начала работы алгоритма. Однако в таких задачах, как автоматическое разбиение статей из новостного потока, общий набор кластеризуемых документов не может быть заранее определен, так как на вход системе непрерывно поступают новые статьи. Для решения этой проблемы требуется либо адаптация существующих алгоритмов статической и инкрементальной кластеризации, либо разработка новых методов с учетом специфики онлайн-кластеризации.

Дадим формальную постановку задаче онлайн-кластеризации по аналогии с задачей статической кластеризации. Пусть  $(x_1, \dots, x_i, \dots)$  упорядоченная бесконечная счетная последовательность элементов множества  $X$ , считываемых в порядке увеличения индекса  $i$ . Требуется в каждый момент времени хранить в памяти разбиение множества уже считанных объектов на непересекающиеся кластеры так, чтобы каждый кластер состоял из объектов, близких по метрике  $\rho$ , а объекты разных кластеров существенно отличались. При этом каждому объекту  $x_i$  приписывается номер кластера  $y_i$ .

Для решения поставленной задачи онлайн-кластеризации могут использоваться следующие алгоритмы.

### Наивный однопроходный алгоритм

Базовый алгоритм для кластеризации потока новостных статей имеет следующие этапы:

1. считывается новое сообщение;
2. находится кластер, расположенный наиболее близко к сообщению;
3. если расстояние между найденным кластером и сообщением меньше заданного порогового значения, то занести сообщение в этот кластер;
4. иначе, создать новый кластер, содержащий считанное сообщение.

### Doubling

Данный алгоритм решает проблему онлайн  $k$ -кластеризации, т.е. задачи разбиения потоковых данных на кластеры, число которых точно задано и равно  $k$ . Алгоритм использует два параметра  $a$  и  $b$  такие, чтобы  $\frac{a}{a-1} \leq b$ . Рассмотрим  $i$ -ю итерацию алгоритма. Допустим, в ее начале сформирована коллекция из  $k$  кластеров  $(C_1, \dots, C_k)$ ,  $d_i$  — минимальное значение их диаметров. Каждый

кластер  $C_i$  имеет центроид  $c_i$ , которым является один из принадлежащих ему документов. Каждая итерация состоит из двух фаз: слияния и обновления. На этапе слияния мы устанавливаем  $d_{i+1} = b \cdot d_i$ , и на основе этого значения из существующих кластеров формируются новые кластеры по следующему принципу:  $C_p$  и  $C_s$  объединяются в один кластер, если расстояние между их центроидами  $c_p$  и  $c_s$  меньше или равно  $d_{i+1}$ . В результате работы фазы слияния мы имеем  $m \leq k$  кластеров. На фазе обновления считаются новые поступающие документы и если расстояние от нового объекта до ближайшего центроида не превышает величину  $a \cdot d_{i+1}$ , он добавляется в соответствующий кластер. Если документ лежит достаточно далеко от всех центроидов — образуется новый кластер. Фаза обновления продолжается до тех пор, пока число кластеров не станет равно  $k$ .

### Архитектура разрабатываемой системы

В рамках данной работы была реализована система автоматического агрегатора новостных статей. Данная система предназначена для представления пользователю последних новостей и происшествий. Агрегатор собирает статьи различных интернет-изданий СМИ и выделяет из них относящиеся к одним и тем же темам или событиям. Архитектура системы представлена на рис. 2. Рассмотрим работу отдельных модулей агрегатора.

Система состоит из двух программ, работающих независимо друг от друга — сканер новостей и web-сервер. Сканер периодически опрашивает добавленные в список источников новостные серверы, загружая их RSS-ленты и проверяя наличие свежих, еще не обработанных статей. Если такие статьи появились с момента прошлого обхода сканера, происходит загрузка страницы с сайта издания, содержащей полный текст сообщения.

На следующем этапе html-страница подвергается обработке с целью выделения полного текста статьи, не содержащего лишней информации. Вместе с содержанием статьи анализируются ее метаданные — дата публикации, источник, ссылка на первоисточник и т.д. Формируется образ статьи внутри системы.

Затем модуль лингвистического анализа убирает из текста знаки препинания и ненужные стоп-слова, не несущие смысловой нагрузки — союзы, частицы, некоторые наречия и т.д. Применяя алгоритм Портера[4], данный модуль также осуществляет стемминг текста: для каждого слова отбрасывается окончание и выделяется его основа, чтобы одни и те же слова, стоящие в различных грамматических формах (например, «сапог», «сапогов» и «сапоги»), представлялись для системы одинаковыми.

Следующий модуль осуществляет индексацию текста статьи и некоторых метаданных. Индексация производится с помощью свободно распространяемой библиотеки *Lucene*. Новая статья представляется в виде вектора преобразованных слов (термов) и добавляется в хранилище индексов на файловой системе.

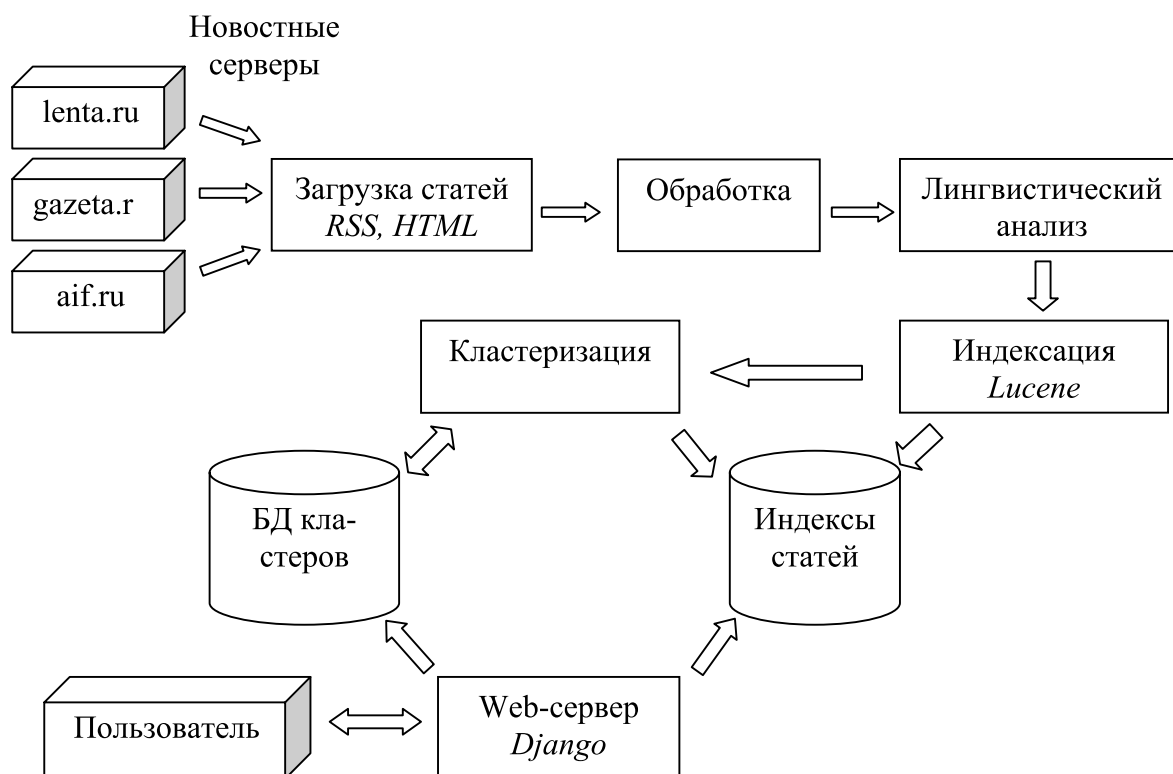


Рис. 2. Архитектура системы

Модуль кластеризации принимает на вход образ статьи, содержащий ее вектор термов, и считывает из базы данных и хранилища индексов данные, необходимые для определения кластера, в который будет занесена новая статья. Вектор термов представляет собой ассоциативный массив пар  $(term, weight)$ , где  $term$  — терм из текста статьи,  $weight$  — значение веса этого терма в данной статье. Кластер представляется набором всех статей, содержащихся в нем.

Вес  $weight$ , рассчитывается по метрике TF-IDF [1]:

$$weight = tf \cdot idf,$$

где  $tf$  — частота употребления терма в тексте данной статьи. Значение  $idf$  определяется по формуле

$$idf = 1 + \frac{N}{1 + \log_2 df},$$

где  $N$  — количество документов в текущей коллекции,  $df$  — общее число документов, в которых встречается данный терм. Таким образом, наибольший вес имеют слова, которые часто встречаются в тексте данной статьи, но редко — во всей текущей коллекции документов.

Модуль кластеризации использует наивный однопроходный алгоритм, рассмотренный ранее. Расстояние от новой статьи до кластера высчитывается как среднее арифметическое расстояний до всех статей кластера. Для вычисления дистанции между двумя статьями используется косинусная мера близости между их векторами термов:

$$sim(d_1, d_2) = \frac{\vec{v}(d_1) \cdot \vec{v}(d_2)}{|\vec{v}(d_1)| |\vec{v}(d_2)|},$$

В качестве порогового значения радиуса кластеров экспериментально было подобрано число 0.3. После завершения работы алгоритма кластеризации для новой статьи, ей присваивается идентификатор кластера, пересчитывается центр кластера, и вся информация сохраняется в базу данных.

Параллельно подсистеме сканера новых статей работает web-сервер, задачей которого является обработка входящих пользовательских соединений и запросов. При новом запросе он обращается в базу данных кластеров и отправляет пользователю информацию о последних событиях, основанную на образованных кластерах. Пользователю также предоставляется возможность поиска по тексту статей. Запросы на поиск обрабатываются сервером путем обращения к хранилищу индексов.

### Результаты экспериментов

Эксперименты проводились на новостных статьях пяти онлайн-источников, находящимся по адресам: [www.lenta.ru](http://www.lenta.ru), [www.gazeta.ru](http://www.gazeta.ru), [www.aif.ru](http://www.aif.ru), [www.kp.ru](http://www.kp.ru) и [www.rbc.ru](http://www.rbc.ru). Подсистема сканера сообщений агрегировала статьи в течение суток. В результате работы системы было собрано 734 статьи и из них выделено 446 кластер. Самый большой кластер содержал 20 статей, а 385 кластеров оказались атомарными.

Вручную с помощью веб-интерфейса системы были оценены точность и полнота результатов кластеризации. Точность — отношение количества верно распределенных в один кластер статей к общему числу статей в этом кластере. Полнота — отношение числа верно распределенных в один кластер статей к общему числу статей о сюжете кластера. В экспериментах подсчитывались средние значения полноты и точности для всех кластеров и сюжетов. При оценке учитывались следующие признаки: количество статей, правильно отсортированных по кластерам, количество статей, которые система неверно занесла в тот или иной кластер, количество кластеров и их размеры, описывающие одно и то же событие и которые должны быть объединены в один (учитывались все такие кластеры, за исключением наибольшего из них). Для оценки точности наблюдались только относительно большие группы, с числом статей больше двух.

В результате были получены значения 55% для точности и 91% для полноты кластеризации. Полученная величина точности является неплохим экспериментальным результатом для подобной системы, но недостаточно качественным для промышленного использования[3]. Высокий процент полноты получен по той причине, что в ходе работы системы было выделено большое число атомарных кластеров, состоящих из одной или двух статей. Подобные кластеры не представляют интереса для пользователя агрегатора, поэтому их следует скрывать при выдаче результатов.

Результаты экспериментов показали, что наивный однопроходный алгоритм онлайн-кластеризации с достаточной эффективностью может применяться в системах обработки новостного потока с небольшим набором источников. Однако можно выделить некоторые методы

улучшения как эффективности работы агрегатора, так и экспериментальной базы. Для проведения более точных исследований требуется добавление новых источников статей или анализ работы системы с предоставлением эталонного кластеризационного решения, например на дорожках РОМИП[5].

Для усовершенствования системы агрегатора следует реализовать более эффективные алгоритмы. Одни из таких является метод двухпроходной кластеризации с целью объединения атомарных кластеров[2]. Также повысить эффективность работы может алгоритм онлайн-кластеризации, основанный на принципе статического иерархического, и его разработка является направлением дальнейшей работы в области онлайн-кластеризации. Кроме того, для более точного нахождения меры соответствия сообщений следует использовать более универсальные метрики векторов термов, например BM25[8].

Для анализа новостных потоков можно выделить также следующие направления дальнейших исследований:

- поиск главных действующих лиц события, выделение их действий, цитат, объектов, над которыми совершено действие;
- построение аннотаций к текстам статей с помощью наиболее важных ключевых слов;
- анализ связей по ссылкам и ключевым фигурам и объектам между различными статьями, выявление сюжета или анализ линии поведения;
- анализ действий пользователя с выдаваемым набором статей на его вопрос, использование этих данных для настройки алгоритмов;
- выявление популярности той или иной статьи на основе анализа комментариев и записей в личных дневниках пользователей, касающихся той или иной новости.

## Литература

1. Пескова О.В. Разработка метода автоматического формирования рубрикатора полнотекстовых документов. — Дис. ... канд. техн. наук. — Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008.
2. Кондратьев М.Е. Анализ методов кластеризации новостного потока. — Труды 8-й Всерос. науч. конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» RCDL'2006. — Суздаль, 2006. — С. 108–114.
3. Сегалович И., Маслов М., Нагорнов Д. Как работают новые Яндекс.Новости [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://company.yandex.ru/technology/publications/2003-08.xml>, свободный.
4. [Алгоритм выделения псевдооснов Мартина Портера] [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://snowball.sourceforge.net>, свободный.
5. Российский семинар по Оценке Методов Информационного Поиска [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://romip.narod.ru/>, свободный.
6. M. Charikar, C. Chekuri, T. Feder and R. Motwani. Incremental clustering and dynamic information retrieval. // Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Theory of Computing. — 1997. — P. 626–635.
7. S. Guha, N. Mishra, R. Motwani, L. O'Callaghan. Clustering data streams. // Proceedings of the Annual Symposium on Foundations of Computer Science (XI'00). IEEE — 2000. — P. 359–366.
8. Baeza-Yates R., Ribeiro-Neto B. Modern Information Retrieval. — ACM Press/Addison Wesley, 1999.

## Увеличение грузоподъемности крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов «АСТ-4-А»

Лагереv И.А., аспирант

Брянский государственный технический университет

Объектом исследования является кран-манипулятор машины для сварки трубопроводов «АСТ-4-А» (рис. 1). На гусеничном шасси установлена электрическая станция, сварочное оборудование, сушильная камера и кран-манипулятор. Машина производится ЗАО «Дизель-Ремонт» (г. Брянск).

Кран-манипулятор с поворотной стрелой предназначен для подъема и перемещения палатки сварщика в зону сварки труб большого диаметра. Палатка сварщика накрывает стык и предотвращает вредное воздействие окружающей среды на сварной шов. На стреле манипулятора с помощью приварных скоб крепятся электрические кабели, соединяющие размещенные в кузове агрегата сварочные выпрямители и посты сварки, находящиеся в палатке. Металлоконструкция крана-манипулятора изготовлена из проката низколегированной стали 09Г2С (класс прочности 390 по ГОСТ 19281–89).

Цель исследования — разработка рекомендаций по увеличению номинальной грузоподъемности крана-манипулятора самоходной энергетической машины с 750 до 1500 кг. Это связано с внедрением новых палаток сварщика иностранного производства, имеющих удвоенную массу. Завод-изготовитель получил заказ на модернизацию ранее выпущенных машин «АСТ-4-А».

Приняты следующие условные обозначения элементов несущей конструкции крана-манипулятора: секция А — рукоять стрелы, на которой установлен грузоподъемный крюк; секция В — стрела; секция С — поворотная опора.

На первом этапе исследования разработана геометрическая твердотельная модель крана-манипулятора. Модель использована для построения топологии объекта при расчетах методом конечных элементов.

Методика расчета металлоконструкции крана-манипулятора повышенной грузоподъемности базируется на нормативном методе предельных состояний [1, 2].

Приняты следующие характерные периоды эксплуатации исследуемого крана-манипулятора:

- расчетный случай I — рабочее состояние оборудования при нормальной (номинальной) нагрузке и нормальных (номинальных) скоростях механизмов движения — штатный режим работы;
- расчетный случай II — рабочее состояние оборудования при максимальной рабочей и динамической нагрузке;
- расчетный случай III — нерабочее состояние оборудования при максимальной нагрузке — максимальные нагрузки нерабочего состояния.

Для каждого расчетного случая выделены типовые последовательности движений, совершаемые механизмами крана-манипулятора:

а) подъем и опускание груза при неподвижной машине для сварки трубопроводов и неработающем механизме поворота крана-манипулятора;

б) разгон (торможение) механизма поворота с грузом на крюке крана-манипулятора при неподвижной машине для сварки трубопроводов и неработающих остальных механизмах движения;

с) разгон (торможение) машины для сварки трубопроводов при неработающих механизмах крана-манипулятора.

Перечень эксплуатационных нагрузок для расчета крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов приведен в [2 – 4].

Несущая металлоконструкция крана-манипулятора рассчитана на прочность и жесткость методом конечных элементов. Расчет выполнен для следующих вариантов расположения секций А и В:

- секция А расположена горизонтально, секция В находится в положении наибольшего подъема (1 вариант);
- секция А находится в положении наибольшего опускания, секция В — в положении наибольшего подъема (2 вариант).

Для анализа результатов проведен дополнительный расчет конструкции при работе с первоначальным грузом 750 кг. В этом случае нагрузки заданы согласно комбинации IIа.



Рис. 1. Машина для сварки трубопроводов «АСТ-4-А»



Несущая металлоконструкция крана-манипулятора является тонкостенной, поэтому для исследования ее напряженно-деформированного состояния использованы плоские конечные элементы, моделирующие поведение трехмерных пластин и оболочек. Размер конечного элемента равен 5 мм.

Конечноэлементные модели построены на основе геометрии, импортированной из пакета твердотельного моделирования. Исключены объекты, усложняющие модель, но существенно не влияющие на результаты расчета (технологические отверстия, недеформируемые элементы и т.д.). Созданные конечноэлементные модели проверены на правильность построения с помощью встроенных в МКЭ-пакет средств. Конечноэлементная сетка доработана в ручном режиме.

В результате расчета выявлены наиболее опасные зоны исходной металлоконструкции крана-манипулятора и наихудшие сочетания нагрузок при работе с грузом массой 1500 кг.

Напряжения в исходной металлоконструкции при повышении грузоподъемности с 750 до 1500 кг увеличиваются на 55...65%. Это объясняется тем, что при увеличении грузоподъемности растут только связанные с грузом нагрузки. В то же время собственный вес, инерционные и ветровые воздействия на металлоконструкцию не изменяются.

Наиболее опасным с точки зрения прочности явля-

ется сочетание нагрузок IIa (II расчетный случай, последовательность движений а). Следует отметить, что возникающие в конструкции под действием сочетаний IIa, IIb и IIc напряжения отличаются мало (не более 5%). Напряжения для сочетания III ниже на 30...40% по сравнению с напряжениями для сочетания IIa.

Напряжения в секции А для второго варианта меньше на 40...60% по сравнению с напряжениями для первого варианта, в секциях В и С — больше на 20...30%.

К опасным зонам конструкции, в которых в первую очередь следует ожидать разрушения, относятся следующие:

секция А: верхний и нижний пояса, область перехода верхнего пояса к накладке, обечайка и боковая стенка раскоса крепления гидроцилиндра;

секция В: верхний и нижний пояса, боковина задней части, проушина крепления нижнего гидроцилиндра, проушина крепления гидроцилиндра;

секция С: внутренняя труба ниже проушины крепления гидроцилиндра, стык внешней трубы и бокового ребра, угол кронштейна.

Для обеспечения прочности и жесткости металлоконструкции необходимо усилить секции А и В. Секция С способна выдержать возросшую нагрузку. Кроме того, следует усилить все проушины крепления шарниров.

Подобраны варианты усиления металлоконструкции крана-манипулятора (рис. 2). Подана заявка на патент на

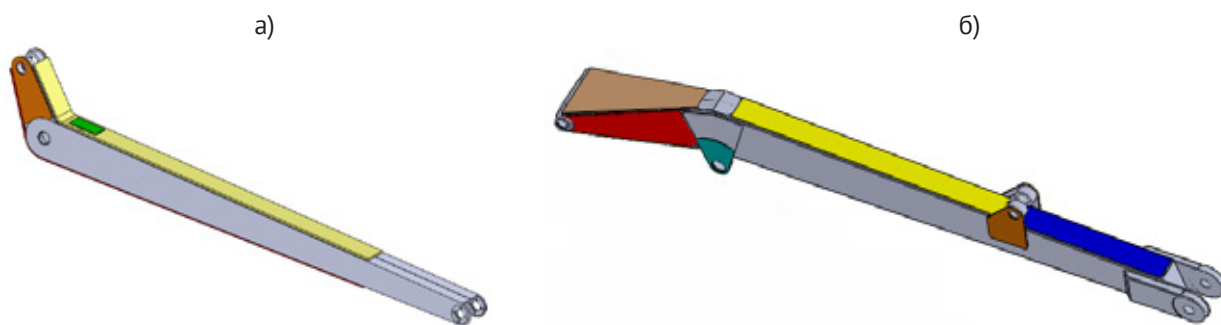


Рис. 2. Схемы усиления металлоконструкции:  
а – секция А; б – секция В

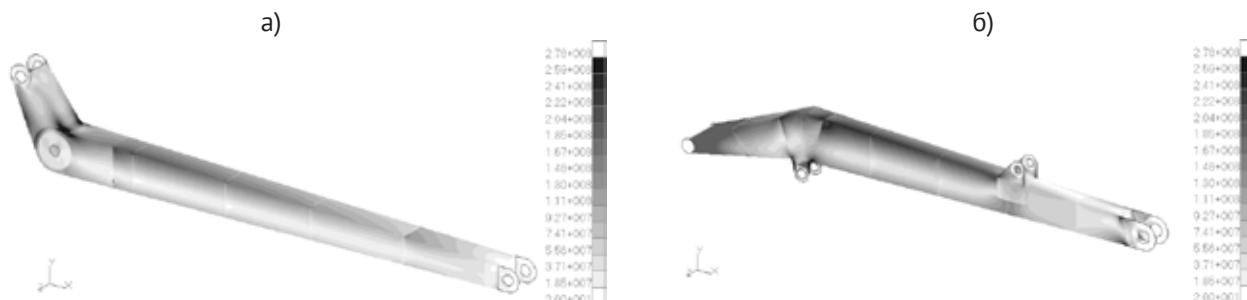


Рис. 3. Эквивалентные напряжения (МПа) в стреле усиленной конструкции:  
а – секция А; б – секция В



полезную модель усиленного крана-манипулятора. Напряжения в опасных зонах усиленных элементов при грузоподъемности 1500 кг не превышают напряжения в исходной конструкции при грузоподъемности 750 кг.

Секция А по верхнему и нижнему поясам, обечайке, накладке и боковой стенке раскоса крепления гидроцилиндра усиливается стальными элементами толщиной 5 мм. Пояса секции В от проушин опирания на секцию С до проушин крепления верхнего гидроцилиндра усиливаются накладками толщиной 10 мм, в головной части — накладками толщиной 5 мм. Боковая стенка секции В и проушины крепления нижнего гидроцилиндра усиливаются листовыми элементами толщиной 5 мм.

Напряжения в стреле крана-манипулятора усиленной конструкции показаны на рис. 3.

Перемещения крюка усиленного крана-манипулятора при подъеме номинального груза на 2% меньше по сравнению с исходной конструкцией. Напряжения, действу-

ющие в конструкции после усиления, сопоставимы с первоначальными. Поэтому существующие ребра жесткости позволят избежать локальной потери устойчивости элементов. Таким образом, предлагаемые схемы усиления обеспечивают требуемую жесткость конструкции.

Дополнительно проведены расчеты крюка и его подвески в нелинейной постановке. Учитывалась геометрическая нелинейность, обусловленная контактным взаимодействием деталей конструкции. Наибольшие напряжения в секции А крана-манипулятора в области опирания втулки составляют 90...110 МПа, во втулке — 150...170 МПа, в грузовом крюке — 160...180 МПа. Таким образом, прочность грузозахватного органа обеспечена.

По итогам научно-исследовательской работы можно сделать вывод, что несущая металлоконструкция крана-манипулятора после усиления способна выдержать нагрузки при увеличении грузоподъемности с 750 до 1500 кг.

### Литература

1. Соколов, С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / С.А. Соколов. — СПб.: Политехника, 2005. — 423 с.
2. Лагереv, А.В. Модернизация крана-манипулятора самоходной энергетической машины АСТ-4-А / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv, В.В. Говоров // Вестн. БГТУ. — 2010. — №4. — С. 59—66.
3. Лагереv, А.В. Нагруженность подъемно-транспортной техники / А.В. Лагереv. — Брянск: БГТУ, 2010. — 180 с.
4. EN 12999:2002. Cranes-Loader cranes. — Bruxelles, 2002. — 96 p.

## Развитие электронного образования в России: тенденции и перспективы

Латыпова В.А., аспирант

Уфимский государственный авиационный технический университет

### Введение

В настоящее время информационные технологии внедряются во все сферы жизни человека, и образование не является исключением. С появлением и распространением Интернет возникла альтернативная форма образования: электронное образование (ЭО). В России ЭО только начинает развиваться. В перспективе ЭО сможет конкурировать с классическим образованием (КО), но сейчас оно является скорее чем-то дополняющим КО, а не как самостоятельная форма обучения. Необходимо провести сравнительную характеристику существующих ЭО и КО и выявить достоинства и недостатки обеих форм образования, чтобы на основе этого определить путь развития и становление ЭО как новой формы образования.

### 1. Сравнительная характеристика классического и электронного образования

Сначала проведем сравнительную характеристику КО и ЭО. Кратко она представлена в таблице 1 и таблице 2. В

таблицах указаны характеристики, которыми, по мнению автора, должно обладать образование. Они затрагивают как обучающихся, так и обучаемых. В таблице 1 показаны характеристики, которые наиболее важны с позиций обучающихся или студентов, а в таблице 2 — с позиций обучающихся или преподавателей.

Рассмотрим подробнее каждую представленную в таблицах характеристику.

Существуют следующие виды образования:

- дошкольное образование;
- среднее образование;
- среднее профессиональное образование;
- высшее профессиональное образование;
- послевузовское образование: аспирантура и докторантура;
- второе высшее образование;
- дополнительное образование: профессиональная переподготовка и курсы повышения квалификации.

Как и КО ЭО охватывает все виды образования. Например, Московский государственный университет экономики, статистики и информатики (МЭСИ) исполь-

Таблица 1

Характеристика	КО	ЭО
Охват всех видов образования	+	+
Быстрое внедрение новых учебных курсов в программу	+	-
Территориальная доступность	-	+
Индивидуальный подход	-	+ -
Возможность бесплатного обучения	+	-
Отсутствие денежных и временных затрат, не связанных с обучением	-	+

Таблица 2

Характеристика	КО	ЭО
Прозрачность образовательных процессов	-	-
Присутствие контроля качества обучения	+	- +
Наличие стандартов	+	-

зует ЭО практически во всех видах образования: в дошкольном, среднем профессиональном, высшем профессиональном, послевузовском, втором высшем и дополнительном [1]. Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова (МГУ), ориентирован на среднее образование и подготовку абитуриентов, а также частично высшее образование. Планируется использование ЭО во втором высшем [2, с. 41]. Дополнительное образование можно также получить на образовательном web-портале. Клиентами таких порталов являются большей частью работники предприятий, банков и других учреждений. Например, компания WebSoft организовала корпоративный портал, на котором можно пройти курсы повышения квалификации с помощью электронных курсов [3]. Таким образом, ЭО и КО в сфере применения равноправны.

Наука развивается быстрыми темпами. Постоянно возникают новые научные направления, новое знание. Это находит отражение в виде появления новых специальностей, новых учебных курсов. Работодатели ищут специалистов новых специальностей. Большинство потенциальных студентов ориентировано на работодателя, поэтому образовательные учреждения должны постоянно вносить новые учебные курсы.

В большинстве случаев преподаватели не могут сами создавать электронные курсы, которые используются в ЭО, и поэтому возникает необходимость обращения к организациям, которые на этом специализируются. Поэтому разработка электронных курсов — долгий и дорогостоящий процесс. Это ограничивает внедрение большого числа курсов в программу ЭО. В то же время введение нового учебного курса в программу КО не требует больших финансовых и временных затрат. Следовательно, необходимо подобрать такой программный инструментарий, который позволит преподавателю создавать электронные курсы самостоятельно и за небольшой промежуток времени.

Под территориальной доступностью в таблице 1 подразумевается возможность получения образования вне за-

висимости от места нахождения потенциального студента. Если студент получает ЭО, то он может находиться как в другой стране, так и в другом городе или пригороде по отношению к месторасположению ВУЗа. Появляется возможность учиться, имея лишь доступ к Интернету и минимальный набор программного обеспечения, который имеется в наличии практически на всех компьютерах: web-браузер и Adobe FlashPlayer. Получая ЭО, студент не привязан к месту своего проживания, и ориентируется на свои способности и интересы, что в дальнейшем скажется на качестве получаемого образования. Если студент выбирает классическую форму образования, то в большинстве случаев он ищет ВУЗ, расположенный недалеко от места жительства, и обучается по тем курсам, которые предлагает местный ВУЗ.

Индивидуальный подход не обеспечивается полноценно ни в ЭО, ни в КО. В КО идет ориентация на группу, поток, большинство, а преподаватель направляет учебный процесс. Студент либо находится в большинстве и усваивает материал средне, либо отстает и не получает полных знаний, либо опережает группу и неэффективно растрчивает учебное время. В ЭО есть только частичная ориентации на студента. Есть возможность менять темп обучения, увеличивая или сокращая срок обучения. Не хватает интерактивности в обучении, постоянно поддерживаемого «диалога» между обучающей системой и студентом. В основном в распоряжении студента есть некоторый учебный материал в виде электронного документа или видео-лекции, который первый воспринимает пассивно. Студенту же необходимо взаимодействие с «учителем», который будет направлять ход обучения. Таким учителем может стать «интерактивная обучающая система», которая будет рассмотрена в следующем параграфе.

Получая КО, обучаемый вынужден нести денежные затраты, не связанные с процессом обучения: оплата транспорта, питания и проживания (в случае иногородних студентов). Также неэффективно растрчивается время. В

случае ЭО студент может учиться, не выходя из дома или проходить курсы повышения квалификации, находясь на работе.

Существующее ЭО строится на платной основе, бесплатно его получить на данный момент нельзя. Правда, с увеличением числа обучающихся резко снижаются затраты, связанные с обучением, так что можно предположить, что в будущем стоимость обучения будет невысокой и доступной большинству. В КО, несмотря на наличие бюджетных мест, наоборот идет тенденция к сокращению бесплатного образования и повышение стоимости платного образования.

Перечисленные выше характеристики в основном касаются интереса обучаемых. А для обучающихся, преподавателей, очень важными являются вопрос прозрачности образовательных процессов, главным образом процессов обучения, и вопрос контроля качества обучения. В случае КО преподаватели, читая учебный курс, не имеют возможности увидеть, как происходит процесс обучения. Приступая к подаче нового учебного материала, они не знают, на сколько усвоен студентами предыдущий материал. Косвенно преподаватели получают информацию о процессе обучения на практике, проводя опросы и проверочные работы, контролируя качество обучения. Но, как правило, практики идут с большой задержкой от лекций и опрос имеет выборочный характер. Выступает только часть студентов и контрольные вопросы затрагивают не весь материал. Таким образом, преподаватель не может оценить, насколько эффективно изложен учебный материал в его курсе и внести своевременно корректировки. А от этого, свою очередь, снижается качество образования в целом.

Системы, используемые в ЭО, также не позволяют наглядно видеть, как происходит процесс обучения. Эффективность курса также оценивается косвенно на основе результатов опроса, тестирования. Также немаловажен вопрос, касающийся добросовестности учащихся, которые проходят тестирование. Сейчас это решается таким образом: студент сдает промежуточные тесты заочно, используя систему, а итоговую проверку проходит очно, в ВУЗе.

Необходимо на базе ЭО использовать модуль образовательной системы, который будет наглядно представлять бизнес-процессы обучения. Таким образом, не имея постоянного контакта с обучаемыми, преподаватель с помощью системы сможет увидеть, как происходит обучение в целом и для конкретного обучаемого. Тогда преподаватель, создавший курс сможет, вносить поправки в курс, повышая эффективность получаемых студентами знаний.

В России пока не выработаны стандарты ЭО. Используются стандарты под очную систему обучения. Переход на международные стандарты может привести к тому, что сертификацию на такой вид обучения смогут получить только столичные ВУЗы. Такая ситуация, в свою очередь, может повлечь за собой желание потен-

циальных студентов обучаться в столичных ВУЗах, а не в местных. Тогда последние потеряют свою значимость и их накопленная база знания, ориентированная на потребности региона, останется невостребованной. Таким образом, необходимо разработать новые стандарты для ЭО.

## **2. Интерактивная система как неотъемлемая часть электронного образования**

Автор предлагает новый подход в организации ЭО, основанный на использовании интерактивной системы обучения.

На рисунке 1 показаны посредством сетей Петри бизнес-процессы обучения. Учебный материал разбивается на части в виде лекций, которые могут быть представлены в виде документа pdf, записи видео-лекции и др. После ознакомления с материалом студент должен пройти промежуточное тестирование. При успешном прохождении теста обучаемый может приступить к изучению следующей лекции, после чего должен пройти новое тестирование. И так до окончания всего учебного курса. После изучения всего материала студент проходит итоговое тестирование. При успешном прохождении он получает зачет или оценку, при неуспешном система направляет его на повторное изучение всего курса.

Обучение происходит в интерактивном режиме. Управление процессом обучения идет посредством обратной связи. Система отслеживает этапы, на которых находится студент в процессе обучения и корректирует подачу материала, реагирует на приобретенные студентом знания. Обучаемый может обращаться на специальный форум, где общаются студенты, изучающие тот же курс, задавать там вопросы, делиться своим пониманием. Есть постоянная связь с преподавателем курса. Идет живое и активное обучение. Обеспечивается индивидуальный подход к каждому обучающемуся. Также идет постоянный контроль усвоения студентом предоставленного материала. Обучающийся не предоставлен самому себе. Процесс обучения становится прозрачным и легко контролируемым.

## **Заключение**

Проведенная сравнительная характеристика показала, что ЭО обладает рядом характеристик, которые являются востребованными как у обучаемых, так и у обучающихся, но отсутствуют в КО. Поэтому ЭО может считаться альтернативной формой образования. В то же время в результате анализа было выявлено отсутствие в ЭО некоторых важных характеристик. Специальный программный инструментарий, интерактивная информационная обучающая система, использование наглядного представления бизнес-процессов обучения, разработка новых стандартов поможет становлению ЭО как полноправной формы образования.

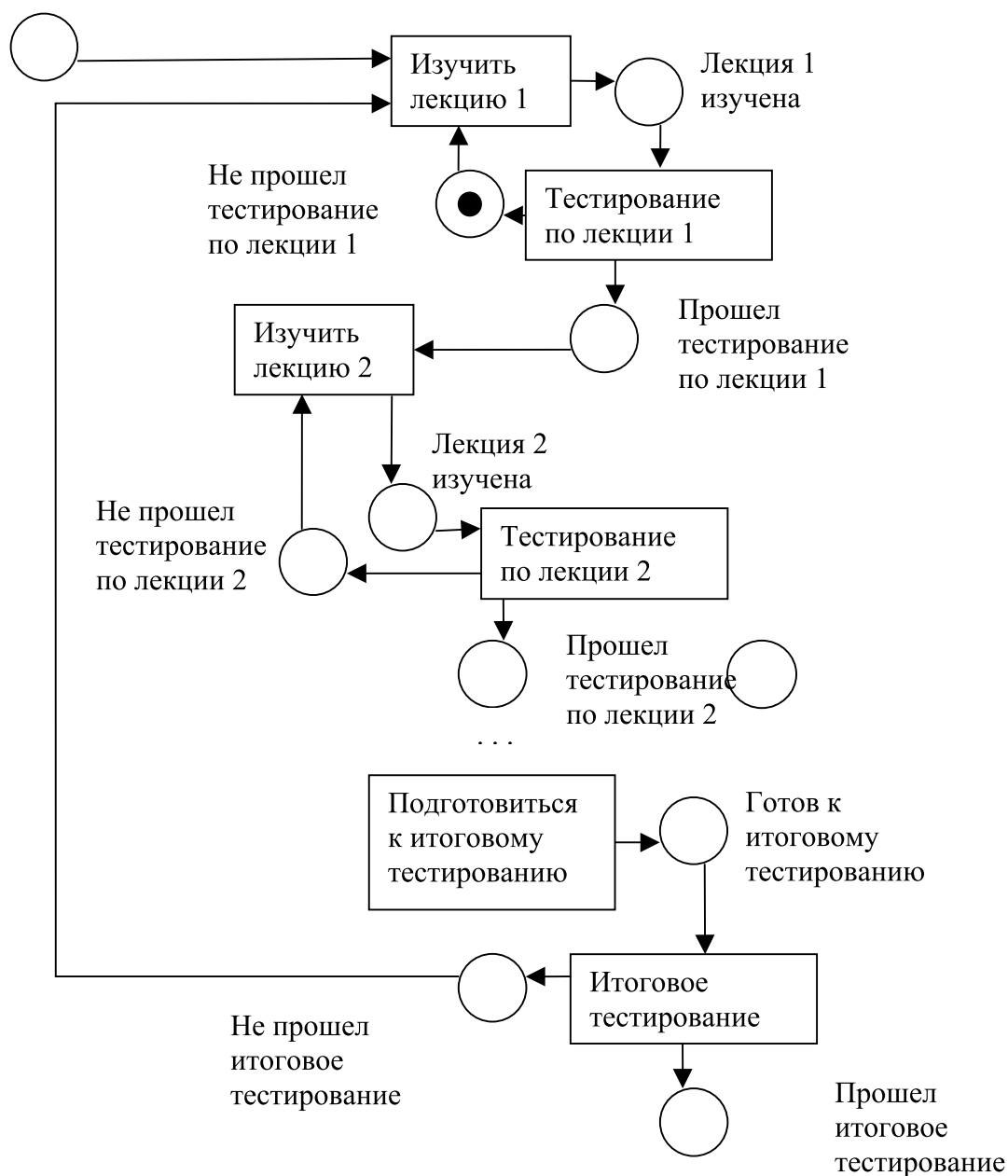


Рис. 1.

**Литература**

1. [cprk.mesi.ru](http://cprk.mesi.ru)
2. Хлопаева Н.А. Электронное образование: возможности и ограничения нового рынка. // Вестник национального комитета «Интеллектуальные ресурсы России». — М.: Секретариат Национального комитета по интеллектуальным ресурсам, 2004, №1, с.36–42.
3. [www.websoft.ru](http://www.websoft.ru).

## Исследование сплавов на основе никеля, применяемых в электронном приборостроении

Бирюкова Н.М., научный сотрудник; Липай М.С., студент; Соколов В.Г., кандидат химических наук, доцент  
Белорусский государственный университет

**Х**имическое осаждение никеля из водных растворов широко используется при решении различных технических задач в электронном приборостроении (металлизации корпусов, создании омических контактов к полупроводниковым структурам, барьерных, адгезионных, токопроводящих слоев и др.). Поэтому улучшение эксплуатационных характеристик (коррозионной стойкости, электропроводности, способности к пайке, микротвердости и др.), или придание таким никелевым покрытиям новых качеств представляет значительный практический интерес.

В данной статье представлены результаты исследования особенностей формирования и свойств сплавов на основе никеля и некоторых редкоземельных и тяжелых элементов (висмут, индий, лантан и их комбинаций), получаемых методом химического осаждения из никель-гипофосфитных растворов в присутствии солей этих металлов и органических веществ из класса полидисульфидов.

Анализ литературных данных показал, что существует много двойных, тройных сплавов на основе никеля, меди, кобальта и каталитически неактивных металлов — вольфрама, хрома, ниобия, и др., получаемых методом химического (ХОМ) и электрохимического осаждения, которые обладают рядом ценных свойств. [1, с. 60; 2, с. 117] Однако примеси таких каталитически неактивных металлов, вводимые в растворы ХОМ, оказывают сильное ингибирующее действие на скорость автокаталитического восстановления никеля и при концентрации более  $10^{-4}$  моль/л полностью ингибируют процесс автокатализа. [2, с. 114]

Установлено, что одним из возможных путей снижения ингибирующего действия примесей тяжелых металлов является введение в растворы ХОМ добавок некоторых веществ из класса полидисульфидов (таблица 1) [3], синтезированных нами методом поликонденсации и идентифицированных различными физико-химическими методами (ИК-спектроскопия, ЭПР-спектроскопия, элементный анализ и др.).

Введение полидисульфидов в растворы  $\text{XONi}$  позволяет увеличить концентрацию солей редкоземельных металлов (висмут, индий, лантан) до  $1 \times 10^{-2}$ ,  $5 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-4}$  моль/л соответственно; при этом скорость осаждения никелевого покрытия увеличивается в 2–2,5 раза.

В литературе имеются сведения о структуре и фазовом составе сплавов никель-фосфор с различным содержанием никеля и фосфора, а также сплавов  $\text{Ni-P-Bi}$  и  $\text{Ni-P-Sn}$ .

Было показано, что структура пленок этих сплавов в значительной степени зависит от содержания в них фосфора и температуры термообработки, состава раствора химического никелирования и др. [4]

Соосаждение тяжелого металла с никелем можно рассматривать как частичный переход компонента раствора, присутствующего в малых концентрациях (микрокомпонента), в твердую фазу, образуемую в данной системе других компонентов, которые находятся в значительно больших концентрациях. Важнейшей особенностью соосаждения является то, что находящийся первоначально в гомогенной системе микрокомпонент не может в условиях проведения процесса (при понижении или повышении температуры, удалении растворителя, изменении pH и т.п.) образовать самостоятельно твердую фазу, а вовлекается в твердую фазу вместе с макрокомпонентом. Можно предположить, что включение микрокомпонента в твердую фазу происходит за счет образования твердого раствора никеля с микрокомпонентом (лантан, висмут, индий) и вовлечения его в формирующийся осадок (окклюзионное соосаждение), а также посредством адсорбции на гранях сросшихся микрочастиц и блоков текстуры осадка (внутреннее-адсорбционное соосаждение). Для подтверждения данного предположения нами было исследовано изменение фазового состава и микроструктура никелевых покрытий из сплавов на различных стадиях их роста.

Никелевые покрытия и сплавы на основе никеля осаждали из растворов, составы которых приведены в таблице 2, на кремниевую подложку после ее обезжиривания, травления в плавиковой кислоте и активирования в растворе хлорида палладия.

Температура растворов при осаждении покрытия составляла  $60 \pm 2^\circ\text{C}$ , а плотность загрузки —  $1 \text{ дм}^2/\text{л}$ . Легирующие металлы, вводили в виде нитратов в интервале концентраций от  $5 \times 10^{-6}$  —  $5 \times 10^{-3}$  моль/л. Стабилизирующие добавки класса полидисульфидов вводили в интервале концентраций  $10^{-4}$  —  $10^{-5}$  моль/л. Толщина исследуемых пленок составляла 0,1–0,3 мкм.

Изменение фазового состава покрытий, исходных и термообработанных до  $500^\circ\text{C}$  в атмосфере аргона в течение 30–60 минут, контролировали с помощью дифрактометра HZG 4A (Карл Цейс Йена) с использованием медного и кобальтового антикатада с никелевым фильтром. Исследование морфологии покрытий проводили методом трансмиссионной микроскопии с помощью микроскопа УЭВМ-100 ЛМ.

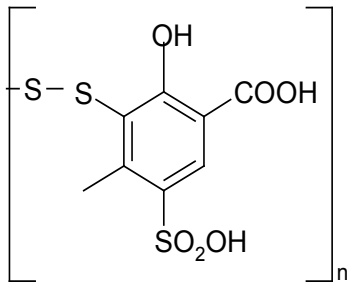
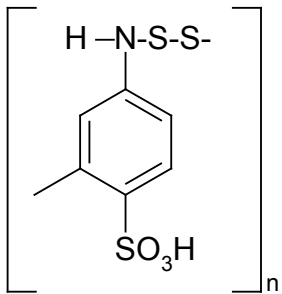
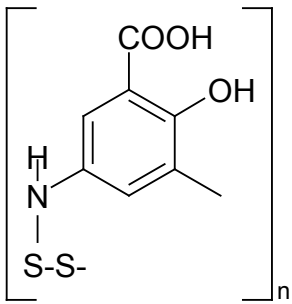
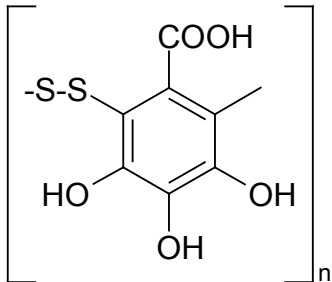
С помощью атомно-эмиссионной спектроскопии (Plasma-100) установлено, что из никель-гипофосфитного раствора, который содержит ионы индия, лантана, висмута получают тонкопленочные покрытия с содержанием от 2,9 ат. % до 6,2 ат. % индия (висмута, лантана).

Установлено, что свежесоосажденные никелевые покрытия, полученные из растворов в присутствии вводимых



Таблица 1

Структурные формулы полидисульфидов некоторых органических веществ

№ п/п	Формула		Название
1		$n = 4-8$	сульфосалициловой кислоты (2-гидрокси-5-сульфобензойной кислоты)
2		$n = 3-5$	сульфониловой кислоты (4-аминобензолсульфокислоты)
3		$n = 5-8$	3-амино-6 гидроксibenзойной кислоты
4		$n = 5-8$	галловой кислоты

добавок солей тяжелого металла, рентгеноаморфны и характеризуются наличием широкого гало в области  $2\theta = 38-57^\circ$ , что свидетельствует об образовании твердого раствора, например, индия или висмута, в никеле. В процессе термообработки до  $250-270^\circ\text{C}$  степень кристалличности практически не изменяется. Размытый пик на спектре DSC в интервале температур  $250-270^\circ\text{C}$ , по-видимому, соответствует удалению из покрытия водорода, адсорбированного на границах зерен в местах структурных несовершенств покрытия. При дальнейшем повышении

температуры ( $\geq 350^\circ\text{C}$ ), в сплаве никель-фосфор происходит перераспределение атомов в решетке твердого раствора, связанное с движением вакансий. Этот процесс способствует инициированию распада твердого раствора с образованием новых фаз — интерметаллических соединений. Выделение интерметаллического соединения (по данным рентгенофазового анализа  $\text{Ni}_3\text{P}_2$ ,  $\text{Ni}_3\text{P}$ ,  $\text{Ni}_2\text{P}$ ) происходит в интервале температур  $320-350^\circ\text{C}$  и сопровождается экзотермическим эффектом. Для пленок, содержащих индий, выделение фазы фосфитов индия и никеля

Таблица 2

## Составы растворов химического никелирования

Название раствора	Компоненты	Концентрация, г/л
Ацетатный	$\text{NaH}_2\text{PO}_2$	20
	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$	10
	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ni}$	15
Хлоридный	$\text{NiCl}_2$	15
	$\text{NH}_4\text{Cl}$	35
	$\text{NaH}_2\text{PO}_2$	20
	$\text{CH}_3\text{COONa}$	5

Таблица 3

Коррозионная стойкость и способность к пайке никелевых покрытий, содержащих примеси висмута и лантана

Исследуемый параметр	Хлоридный раствор			Ацетатный раствор		
Суммарная площадь коррозионных очагов S, %	95	14–16	9–12	75	8	14–16
Способность к пайке, $K_p$ — коэффициент растекания припоя, %	0,6–0,7	1,21	2,2–2,4	0,6	0,8	2,1–2,3
Состав сплава	Ni-P	Ni-P-Bi	Ni-P-La	Ni-P	Ni-P-Bi	Ni-P-La

Примечание: в качестве флюса использовали спиртовой раствор канифоли.

начинается с 280 °С, однако рефлексy уширены и имеют небольшую интенсивность. Степень кристаллизации фосфидов никеля  $\text{Ni}_3\text{P}_2$  и индия  $\text{InP}$  повышается с увеличением температуры до 340 °С, о чем свидетельствует увеличение числа наблюдаемых рефлексов, повышение их интенсивности и уменьшение их полуширины. При такой температуре появляются фазы фосфидов металлов  $\text{InP}$ ,  $\text{LaP}$  и  $\text{BiP}$ . Прогрев при 340 °С приводит к образованию фазы металлического индия. Выделение фаз металлических висмута и лантана при аналогичной обработке не наблюдается. Повышение температуры прогрева до 500 °С приводит к углублению процессов кристаллизации.

Изменение фазового состава химически осажденных сплавов на основе никеля, легированного тяжелыми металлами, соответственно влияет на физико-химические свойства осаждаемых покрытий и, прежде всего, на способность к пайке, адгезионную прочность и др. Следует отметить, что адгезионная прочность покрытий, легированных тяжелыми металлами после термической обработки превышает 200 Н/м.

Испытания никелевых покрытий на коррозионную устойчивость в климатической камере по методу погружения и солевого тумана показали, что никель-фосфорное покрытие уступает по коррозионным свойствам, покрытиям, легированным тяжелыми металлами (таблица 3).

При этом замечено, что после первого цикла коррозионных испытаний в никель-фосфорном покрытии образуются множественные очаги коррозии, а в случае легированных покрытий такой коррозионной картины не наблюдается даже после двух и более циклов испытаний. Следует отметить, что наилучшие результаты по коррозионной стойкости были получены на никелевых покрытиях, легированных лантаном.

Результаты электронно-микроскопического исследования поверхности никелевых покрытий, легированных висмутом, индием и лантаном показало, что присутствие добавок тяжелых металлов приводит к получению мелкокристаллических осадков, состоящих из близких по размерам частиц размером 20–30 нм и средней концентрацией их до  $2\text{--}3 \times 10^5$ . Согласно литературным данным, [5] такие покрытия, как правило, имеют большую площадь контакта с подложкой, что способствует росту адгезионной прочности пленок. Возможно значительное изменение эксплуатационных характеристик в сторону улучшения, а также появление нового качества покрытий, легированных указанными выше элементами, связано не только с их микроструктурой, но и с изменением характера взаимодействия между частицами за счет присутствия указанных примесей на границах частиц и формирующихся из них зерен никеля.

**Литература**

1. Мелашенко Н.Ф. Гальванические покрытия диэлектриков: Справочник / Н.Ф. Мелашенко. — Минск : Беларусь, 1987. — 176 с.

2. Химическое осаждение металлов из водных растворов / В.В. Свиридов [и др.]; под общ. ред. В.В. Свиридова. — Минск: «Университетское», 1987. — 270 с.
3. С 23 С 18/36, SU № 1813793 А 1 от 11.10.1992 г., Раствор для химического осаждения никель-фосфорного покрытия, Н.М. Бирюкова, В.П. Бобровская, А.К. Рахманов, Лосев Ю.П., И.Л. Петрова.
4. Н.М. Бирюкова, В.Г. Соколов, Легирование химически осажденных никелевых сплавов тяжелыми металлами, Тез. Доклада на II конференции «НОМАТЕХ-96», Минск, 1996, ч.2, с.110.
5. Н.М. Бирюкова, В.Г. Соколов, В.П. Бобровская // В кн.: Новые материалы и технологии: Тез. Доклада научно-техническая конференция, Минск, 1994, с. 140.

## Повышение точности и сокращение времени планирования в процессах управления проектами по разработке программного обеспечения

Мадорская Ю.М., ассистент

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

### Введение

В целом в отрасли разработки программного обеспечения отмечается рост числа проектов, укладывающихся в установленные на начальном этапе сроки и бюджет. Снизить риски превышения установленных сроков и бюджета позволяет внедрение автоматизированных систем управления проектами. Системы такого класса позволяют повысить точность и сократить время планирования за счет автоматизации задач оперативной реструктуризации и оптимизации планов работ. В тоже время потенциал роста объема проектов выполненных в срок объективно ограничен точностью оценки трудоемкости проекта, заложенной в план работ. Действительно, если трудоемкость задач проекта рассчитана неверно, то не возможно уложится в запланированные сроки и бюджет, даже с использованием автоматизированных систем управления планами работ.

Точность и время оценки трудоемкости работ особенно актуальны в итеративных по своей сути процессах разработки и сопровождения сложных программных систем, подлежащих регулярной модернизации, с целью отражения изменений законодательства, отраслевых политик, технологических процессов и иных правил, определяющих требования к системе. Примерами таких систем являются системы класса АСУП, КИС, внедряемые для автоматизации бизнес-процессов предприятий любых отраслей — энергетика, машиностроение, строительство и др.. Для каждого запроса на изменение системы должна быть рассчитана оценка трудоемкости реализации изменений. Эта оценка является ключевой информацией, необходимой как для планирования каждой итерации разработки системы, так и для принятия решений о возможности реализации запроса на изменение, выборе способа реализации, экономической эффективности модернизации. Точность и время формирования оценки определяют правильность и своевременность принятых решений.

Даже незначительное увеличение времени формирования оценки изменений и снижение точности оценки

могут привести к значительному увеличению длительности итераций процессов создания и эволюционного сопровождения, ошибкам при выборе запросов на изменение, подлежащих реализации, ошибкам в реализации системы, снижению сроков сопровождаемости системы и, как следствие, большим финансовым потерям. Поэтому задача повышения точности и сокращения времени формирования оценки изменений является крайне актуальной.

### Проблемы повышения точности и сокращения времени планирования

Оценка трудоемкости изменений для программных систем, разрабатываемых на основании спецификаций требований, строится на основании анализа моделей, представляющих требования к системе.

Процесс формирования оценки изменений логически делится на две фазы. В ходе первой проводится оценка влияния запроса на изменение на систему, в ходе второй — сопоставление выявленному объему изменений — значений трудоемкости изменений.

Для этого запрос на изменение, поступивший от Заказчика, как правило, в свободной форме, приводится к понятиям, с помощью которых выполнено описание системы. После чего, итеративно, определяется влияние запроса на элементы описания системы — модели и они же требования к ней. Таким образом, определяется набор элементов моделей, подлежащих изменению, а также прогнозируемое содержание изменений.

Важно, что на данной фазе, на каждой итерации, принимаются проектные решения, то есть фактически проводится проектирование системы. Без такого, пусть предварительного, проектирования не возможно выявить область распространения изменений, так как она зависит от конкретных изменений в каждом элементе.

Именно это является основным ограничением на возможность формализации формирования оценки изменений, последующей автоматизации и повышении точ-

ности и сокращения времени выполнения данной задачи, так как известно, что процесс проектирования программного обеспечения в общем случае не формализуем.

Вторая фаза — перевод объема изменений в трудоемкость, также слабо формализуема, поскольку с одной стороны использует неформализованные результаты выполнения первой фазы, а с другой — выполняется на основании опыта эксперта, который должен учесть квалификацию и загруженность специалистов, которые будут выполнять изменения, вероятность увеличения объема изменений в ходе детального проектирования и реализации. Последнее означает, что предварительная оценка трудоемкости отражает еще и воззрения эксперта на качество выполненного поиска элементов, подлежащих изменению и принятых проектных решений. Также для определения трудоемкости эксперту необходимо учитывать технологию разработки.

Очевидно, что заранее предсказать, как отразятся все эти условия на трудоемкости изменений, может только опытный эксперт, хорошо знающий как разрабатываемый продукт, так и конкретный коллектив, и процесс разработки.

Важно также то, что оценка трудоемкости изменений для планирования всегда рассчитывается на неполных данных, так как в приемлемые для принятия решения сроки, не возможно не только провести полное проектирование, но и собрать все данные необходимые для анализа.

Таким образом, основными факторами, оказывающими влияние на точность и время ФОИ являются качество исходных данных и опыт эксперта. Поскольку сам процесс ФОИ слабо формализуем, основное направление повышения точности и скорости ФОИ — это устранение проблем обработки исходных данных и создание условий для накопления опыта ФОИ экспертом.

Исследование проблем, связанных с обработкой исходных данных, формированием экспертного опыта, а также особенностей процесса планирования в организациях, реализующих различные технологии разработки программного обеспечения любой сложности, показало, что **главной проблемой** получения оценки является большая размерность исходных данных, множественность и многомерность их представлений на каждом этапе жизненного цикла программного продукта. **Второй проблемой** построения оценки является наличие ошибок в требованиях, связях между ними и неоднозначность их интерпретации. **Третья проблема** — это отсутствие определенных в явном виде связей, отражающих приоритетные направления распространения изменений. Перечисленные проблемы встречаются при использовании разных технологий разработки программного обеспечения, в крупных и мелких фирмах, при создании сложных и простых приложений. Они отражают сложность организации проектирования интеллектуального продукта в ограниченные сроки и являются объективными характеристиками процессов проектирования и сопровождения программного продукта.

Несмотря на то, что работы в области формирования оценки изменений ведутся в течение нескольких десятков лет силами российских и зарубежных ученых, многие обзоры по-прежнему рапортуют о том, что разработчики, инструментарий, артефакты и процессы все еще слабо интегрированы и взаимосвязи чаще всего определены неявно, что не позволяет отслеживать несогласованность моделей и затрудняет оценку распространения изменений [1], [3]. Создание и поддержка трассировочной информации вручную крайне затратно [2] и определение трассировочных связей между проектными моделями различных уровней абстракции не тривиальна даже для экспертов [4]. Также отсутствует единый подход к классификации взаимосвязей требований для организации их трассировки [5] и несмотря на то, что преимущества трассировки известны, ее реализация на практике дается с трудом [3].

### **Требования к методу формирования оценки изменений**

Анализ установленных проблем позволил сформулировать и обосновать требования к методу формирования оценки изменений.

Метод ФОИ должен быть основан на унифицированном формализованном методе описания требований, сокращающем размерность представления исходных данных для ФОИ, позволяющем автоматически контролировать ошибки в них и определять связи между ними.

Метод ФОИ должен содержать: 1) формальное определение понятия «требование»; 2) описание структуры требований; 3) формальный язык описания требований с однозначно определенной семантикой; 4) правила контроля семантических ошибок в требованиях; 5) правила определения связей между требованиями, отражающие приоритетные направления распространения изменений, позволяющие автоматизировать процесс поиска таких связей; 6) правила формирования оценки изменений.

Метод должен быть открыт, с точки зрения расширения модели понятий и правил описания для учета опыта и специфики технологических процессов предприятия-разработчика.

Для успешного внедрения метода ФОИ в производственную практику должна быть обеспечена возможность интеграции данного метода с методами моделирования системы, используемыми в проекте.

Структура требований метода (— *модель трассировки*) должна: 1) отражать весь объем изменений; 2) позволять легко проецировать изменения в проектных моделях на описание требований для ФОИ и обратно; 3) не должна зависеть от парадигмы проектирования, технологии и средств разработки; 4) позволять определять правила контроля семантических ошибок в требованиях и приоритетные направления распространения изменений;

Структура требований не должна: 1) фиксировать степень детализации описания требований; 2) усложнять описание требований. Должна быть легко применима на практике.

Анализ существующих методов формирования оценки изменений показал, что они, позволяя решать данную задачу, но не удовлетворяют в достаточной степени предъявленным выше требованиям. В большинстве случаев это связано с плохо проработанным терминологическим базисом в этой области и отсутствием структурированного подхода к внедрению ФОИ, подразумевающего предварительную формализацию целей и задач, которые планируется решать при помощи трассировки, а также требований к развитию модели трассировки, являющейся основой метода ФОИ. В процессе эксплуатации это приводит к попыткам использования одной модели трассировки для решения множества задач, определяющих взаимоисключающие требования к модели. Разрабатываются решения частных задач, не имеющие перспективы развития и широкого применения даже в рамках одной крупной компании.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Разработать модель трассировки требований, удовлетворяющую поставленным требованиям.
- 2) Разработать подход к формализации описания требований и соответствующую ему систему формальных определений.
- 3) Разработать формальные определения типов ошибок в требованиях и возможные механизмы их контроля.
- 4) Разработать формальный метод ФОИ, удовлетворяющий поставленным требованиям.
- 5) Разработать реализацию метода ФОИ для практического применения при создании и эволюционном сопровождении АСУП.

### **Базовая модель трассировки требований для ФОИ**

При разработке программной системы некоторая составная структура требований заранее определена выбранным набором методов описания системы, (назовем ее проектной). Чтобы учитывать при ФОИ весь объем изменений в требованиях, структура требований для ФОИ должна быть определена как мета-структура проектной модели.

Сформулированные требования к модели трассировки требуют применения различных стратегий разработки такой мета-структуры — одни требуют поиска обобщения объединения структур проектных моделей, другие — пересечения. Требование к простоте модели предполагает минимализм, необходимость контроля ошибок — детализацию. Нахождение сбалансированного решения, удовлетворяющего всем требованиям является не тривиальной задачей, в том числе вследствие огромного количества предлагаемых методов описания требований, распределенных по регламентам различных типов и отличающихся не только по уровню абстракции и составу категорий, но и по семантике одноименных категорий.

Для решения поставленной задачи было проведено исследование широкого класса регламентов определяющих структуру требований к программным системам — карасных моделей архитектуры, методов анализа и проектирования, методологий разработки и онтологий, а также публикаций отражающих практику разработки.

Исследование показало:

- Наиболее полной и универсальной структурой требований, используемой при разработке систем класса АСУП, КИС и других информационных систем, не зависящей от парадигмы проектирования, технологии и средств разработки является схема Захмана [8], которая отражает процесс проектирования информационной системы;
- Использование схемы Захмана напрямую для формирования оценки изменений не возможно, так как она не содержит описания связей между элементами разных слоев;
- На практике для описания требований при разработке информационных систем, в том числе АСУП, используются все четыре уровня схемы Захмана, что соответствует четырем этапам разработки, в то же время поддержка модели требований системы, отражающей все категории схемы Захмана в реальном производстве не используется, так как крайне затратна..

Однозначное пересечение всех структур требований в современных методах проектирования лежит области двух категорий «данные» и «функции» схемы Захмана. В тоже время более точно процесс объединения проектных моделей отражают категории *процесс*, *объект*. В связи с тем, что наибольшее число изменений затрагивает правила организации бизнес-процессов, целесообразно включить в набор категорий категорию *правила*.

Введенные категории задают единственно возможный уровень абстракции построения модели трассировки, не зависящий от парадигмы и технологии проектирования. Предлагаемый набор категорий является необходимым и достаточным для задачи ФОИ, так как любая характеристика системы реализуется посредством процессов или объектов системы и любые изменения должны отразиться на объектах или процессах программной системы.

Таким образом, можно сформулировать перечень семантических требований к модели трассировки:

- 1) модель трассировки должна отражать четыре уровня требований, соответствующих уровням схемы Захмана;
- 2) модель трассировки должна содержать 3 категории описания проектных моделей *процесс*, *объект*, *правила*.

На основе данных категорий разработана базовая модель трассировки требований к ПО — треугольник трассировки (ТТ), обеспечивающая простую интеграцию различных описаний требований для сквозного отслеживания распространения изменений.

Модель трассировки требований это способ структурирования описания требований, ориентированный на процесс формирования оценки изменений. В соответс-



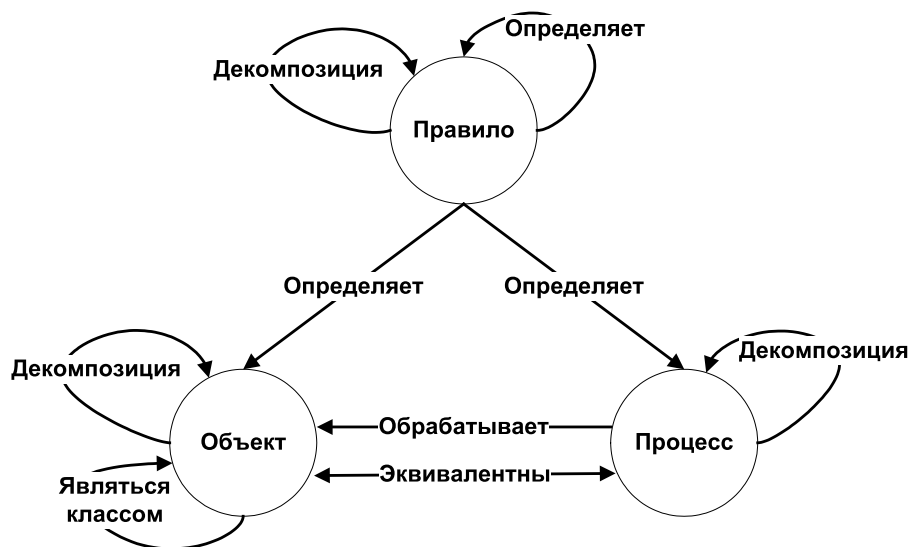


Рис. 1. Треугольник трассировки

твии с разработанными требованиями, модель трассировки можно представить в виде связанного графа, вершинами которого являются три категории: *процесс*, *объект*, *правила*, а дугами 5 отношений: *определяет*, *обрабатывает*, *декомпозиция*, *являться классом*, *эквивалентны*. На рисунке 1 приведена эта модель (треугольник трассировки).

Треугольник трассировки определяет пять типов отношений — *определяет*, *обрабатывает*, *декомпозиция*, *являться классом*, *эквивалентны*. Отношения *определяет* и *обрабатывает* задают базовые отношения между тремя категориями, необходимые для отслеживания распространения изменений. Отношения *декомпозиция*, *являться классом* позволяют выбирать произвольную детализацию описания требований, что необходимо для эффективного управления трудозатратами на поддержание трассировки требований. Отношение *эквивалентны* введено для учета дублирования данных в ходе ФОИ, что позволяет повысить точность и сократить время ФОИ.

Предложенная модель позволяет задавать правила контроля целостности описания требований и, таким образом, осуществлять контроль ошибок в требованиях. Например можно сформулировать правило, «*для любого объекта существует процесс его обрабатывающий*», которое позволяет контролировать ошибки на самом высоком уровне описания системы.

Разработанная модель трассировки позволяет легко интегрировать все методы описания требований, используемые в проекте, для сквозного отслеживания распространения изменений. Она не требует переопределения связей при изменении технологии проектирования — достаточно описать связи нового метода проектирования с категориями базовой модели трассировки и удалить лишние. Такой подход к интеграции позволяет значительно сократить сроки и повысить точность фор-

мирования оценки изменений, даже при использовании неформализованных методов проектирования.

Простота соотнесения проектной информации с категориями треугольника и простые, понятные каждому разработчику типы связей между категориями, позволяют сократить тот объем ошибок разработчика, который не может быть проконтролирован автоматически.

Следует отметить, что предлагаемая схема интеграции не отменяет наработки по интеграции отдельных методов, которые могут быть успешно использованы совместно.

#### **Комплекс решений для повышения точности и сокращения времени планирования в ходе управления проектами по разработке программного обеспечения**

С учетом разработанных требований к методу ФОИ для планирования, базовой модели трассировки и метода интеграции описания требований, был разработан комплекс решений (Комплекс), позволяющий повысить точность и сократить сроки формирования оценки изменений.

Центральным элементом разработанного комплекса является Базовый Метод ФОИ для систем, разрабатываемых на основании спецификаций требований (далее Метод). Метод фиксирует общие решения по формализации задачи ФОИ для систем данного класса. Метод отличается от известных тем, что механизмы взаимодействия его компонент, описанных на языке исчисления предикатов, позволяют реализовать принцип открытости (расширяемости) для ФОИ разных технологий разработки программного обеспечения любой сложности.

Метод основан на трех компонентах: формализации описания требований; согласованной системе определений; классификации ошибок в требованиях. Метод является открытым — его компоненты должны быть дополнены, для учета специфики заданной предметной области. Это позволяет повысить точность формирования оценки

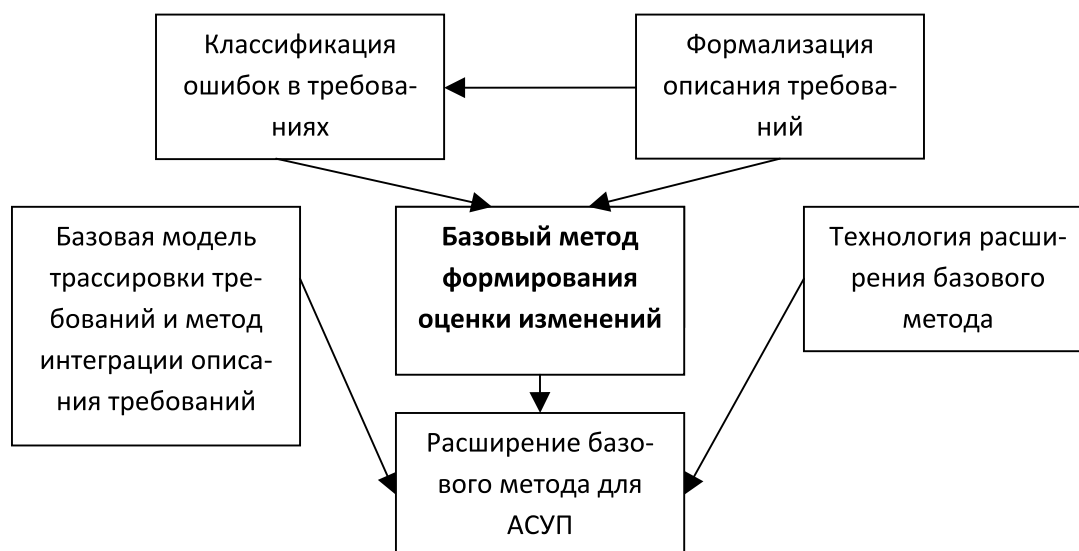


Рис. 2. Взаимосвязи между компонентами Комплекса

изменений за счет покрытия большего числа ошибок правилами описания. Схема дополнения компонентов Метода при уточнении предметной области приведена на рисунке 3.

Подход к формализации описания требований основан на четырех положениях:

- Требование к системе определяется как *высказывание* о свойствах системы.
- Правила контроля ошибок представляются в виде высказываний.
- Структура высказываний задается системой предикатов, которые используют категории и отношения модели трассировки.
- Взаимосвязанные требования определяются как *взаимосвязанные высказывания*.

В этом случае единый способ представления требований и правил контроля ошибок в виде высказываний позволяет автоматизировать контроль ошибок, а их структура всегда будет соответствовать модели трассировки. Четвертое положение позволяет автоматически выявлять связи между требованиями, что сокращает время построения оценки.

Такой подход к формализации описания требований реализует принцип открытости и обеспечивает: трассируемость требований; возможность визуализации модели требований для ФОИ; возможность применения существующего инструментария управления требованиями для ее реализации. Иллюстрация данного подхода применительно к формализации треугольника трассировки приведена в [9].

В соответствии с данным подходом разработана согласованная система определений (ССО), включающая понятия непосредственно связанные с задачей формирования оценки изменений, в том числе понятия «требование», «взаимосвязанные требования». Система определений основывается на таких понятиях математической логики как

формальный язык, синтаксис, грамматика, высказывание, предикат, правильно-построенная формула и глоссарии руководства по разработке спецификаций требований к системе IEEE 1233, определяющим понятие системы.

Ниже приведены некоторые из определений, включенных в данную систему.

- **Высказывание** — *правильно построенная формула языка*, взятая вместе с ее *интерпретацией*, в отношении которой имеет смысл утверждать, что она истинна или ложна.
- **Описание** — совокупность *высказываний*.
- **Правила описания** — совокупность истинных *высказываний*, определяющих правила построения *описания* с учетом *интерпретаций* входящих в него *высказываний*.
- **Метод описания** — формальная система, предназначенная для формирования *описаний* с целью решения задачи моделирования, включающая *язык*, *правила описания* сформулированные с использованием данного *языка*.
- **Предметная константа** — набор символов, обозначающий понятие рассматриваемой предметной области.
- **Взаимосвязанные высказывания** — *высказывания*, для которых соответствующие им *предикаты* содержат хотя бы одну одинаковую *предметную константу*.
- **Требование к системе (требование)** — задокументированное, с использованием выбранного *метода описания*, *высказывание*, определяющее свойства *системы* и ее *окружения*, которое должно быть истинно для реализации *системы*.
- **Взаимосвязанные требования к системе (взаимосвязанные требования)** — *требования к системе*, построенные с использованием *взаимосвязанных высказываний*.

Базовый метод разработан на основе приведенного подхода, его математическим аппаратом является ап-

**М** - метод ФОИ

**L** - расширяемый формальный язык спецификации требований ,

**A** – расширяемое множество правил спецификации требований ,

**R** – множество правил вывода оценки изменений

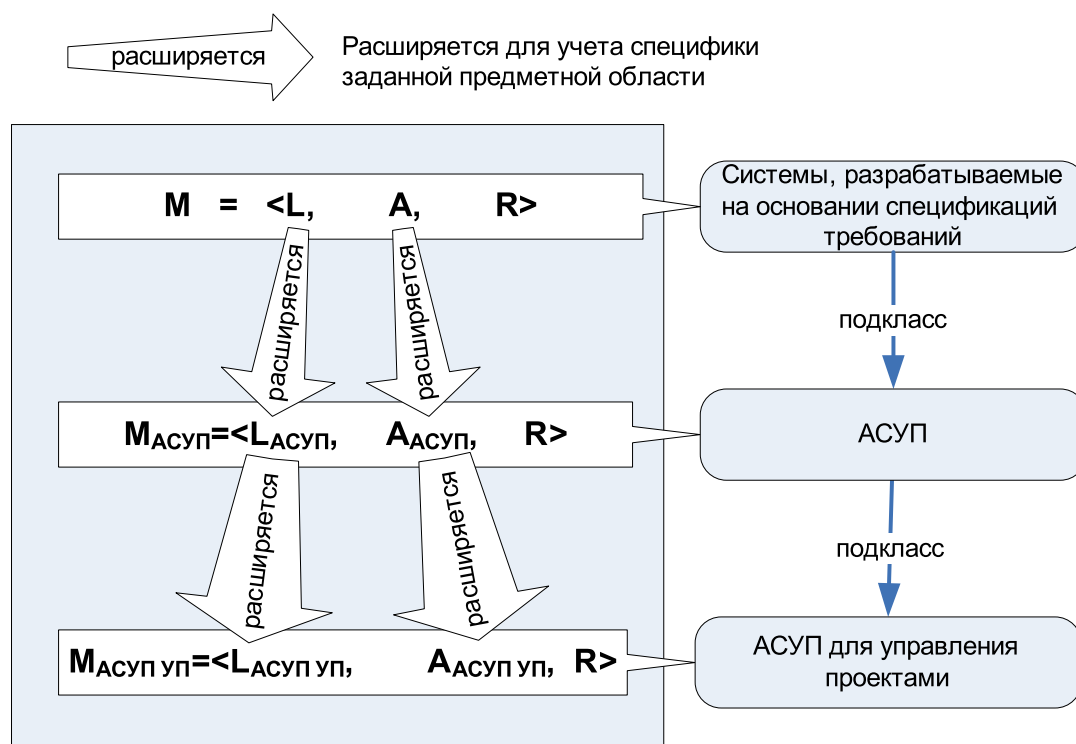


Рис. 3. Схема расширения Базового метода для систем класса АСУП

парат формальных систем и логики предикатов первого и второго порядка. Метод представляет собой формальную систему и содержит все три ее компонента — формальный язык — язык описания требований, аксиомы — правила описания требований и правила вывода — правила формирования оценки изменений.

Язык описания требований базового метода имеет двухуровневую структуру. Для описания требований и связей между ними используются предикаты первого порядка. Свойства требований, необходимые для формирования оценки изменений, описываются с использованием предикатов второго порядка. Структура требований — модель трассировки определена одним унарным и одним парным предикатом.

Метод задает структуру аксиом, которые должны быть разработаны при его расширении для конкретной предметной области, что обеспечивает повышение точности и сокращение времени ФОИ. Структура аксиом ориентирована на покрытие классов ошибок, определенных в разработанной классификации. На уровне Базового метода определены три аксиомы, которые распространяются на любую предметную область.

Правила вывода Метода сформулированы с использованием предикатов второго порядка. Метод позволяет легко расширить набор правил вывода для уточнения алгоритма распространения изменений. Например, для

учета в алгоритме ФОИ возможных видов изменений достаточно ввести дополнительный аргумент, кодирующий тип изменения и написать соответствующие каждому типу изменений правила вывода.

Технология разработки расширений Базового метода основана на итеративном процессе разработки онтологий. Для оценки разрабатываемого набора отношений предлагается использовать Гештальт-принципы построения онтологий.

В качестве расширения Базового метода для систем класса АСУП, разработана Сбалансированная трехуровневая онтологическая модель требований. СТОН детализирует структуру описания требований с учетом специфики процесса разработки АСУП, что позволило ввести дополнительные правила контроля ошибок в описании требований, оказывающих влияние на ФОИ. Множество аксиом СТОН расширено, относительно базового метода до 42-х, что позволяет сократить объем ошибок проектирования и повысить точность и сократить сроки ФОИ. СТОН также как и базовый Метод поддерживает принцип открытости.

Для применения на производстве разработана технологическая модель реализации СТОН в системе, обеспечивающей эффективную коллективную работу с требованиями. Разработка такой системы с нуля требует больших вложений, поэтому реализация СТОН в готовой системе

управления требованиями, позволяет сократить время и расходы на внедрение СТОМ в производство. Разработанная схема позволила построить рабочую версию системы формирования оценки трудоемкости изменений, которая позволяет сократить сроки и расходы на внедрение СТОМ, значительно сокращает объем работ в ходе ФОИ, позволяет в любой момент рассчитать суммарную трудоемкость предполагаемого объема изменений по результатам экспертного анализа распространения изменений на модели. Разработанная реализация позволяет повысить точность формирования оценки изменений за счет сокращения ошибок не только в исходных данных, но и в самом процессе ФОИ.

### Заключение

В ходе проведенных теоретических и экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Разработаны требования к методу формирования оценки изменений с учетом особенностей применения метода для процесса планирования.

2. Разработана Базовая модель трассировки требований, обеспечивающая возможность стандартизации процесса ФОИ на уровне всей организации и значительно упрощающая интеграцию различных методов описания требований для сквозного отслеживания распространения изменений.

3. Разработан подход к формализации требований, обеспечивающий трассируемость требований по построению, позволяющий автоматизировать поиск связей между требованиями и контроль ошибок в требованиях. Подход обеспечивает возможность визуализации модели требований, что облегчает контроль ошибок, не подлежащих выявлению в автоматическом режиме.

4. Разработана система определений, обеспечивающая согласованный терминологический базис для формализации задачи формирования оценки изменений, устраняющая пробел в дисциплине управления требованиями в рамках инженерии программного обеспечения, связанный с отсутствием формального определения понятия требования, которое бы однозначно интерпретировалось разработчиками.

5. Классификация ошибок в требованиях, формально определяющая ошибки в требованиях, необходимая для

определения механизмов их контроля, позволяющая обобщенно выделить типы ошибок, появление которых может проконтролировано или предотвращено при использовании формализованных методов описания требований.

6. Разработан Базовый метод ФОИ, фиксирующий общие решения по формализации задачи ФОИ для систем разрабатываемых на основании спецификаций требований. Метод реализует принцип расширяемости для ФОИ при использовании разных технологий проектирования и разработки программного обеспечения любой сложности.

7. Разработана технология разработки расширений базового метода ФОИ, определяющая задачи процесса разработки расширения Метода, критерии оценки расширения Метода и фазы процесса разработки расширения Метода. Технология позволяет сократить время разработки расширения метода ФОИ для конкретной предметной области.

8. Разработана онтологическая модель описания ИО и ПО АСУП (СТОМ), позволяющая сократить объем ошибок проектирования и повысить точности и скорость формирования оценки изменений для систем класса АСУП.

9. Разработана технологическая модель реализации СТОМ, позволяющая эффективно использовать существующую промышленную систему управления требованиями для внедрения автоматизированного процесса ФОИ на базе СТОМ — сокращая тем самым сроки и расходы на внедрение СТОМ. Модель значительно сокращает объем работ в ходе ФОИ, позволяет повысить точность формирования оценки изменений за счет сокращения ошибок не только в исходных данных, но и в самом процессе ФОИ.

В целом разработанный комплекс решений:

- Технологичен — позволяет сократить сроки и расходы на внедрение и сопровождение — обучение, разработку технологических регламентов, настройку программных систем, модернизацию.

- Позволяет сократить объем работ по каждому запросу на изменение.

- Позволяет повысить точность и сократить время планирования в процессе создания и эволюционного сопровождения систем, разрабатываемых на основании спецификаций требований, а также сократить объем дорогостоящих ошибок проектирования.

### Литература

1. Aizenbud-Reshef, B. T. Nolan, J. Rubin, and Y. Shaham-Gafni. Model traceability. //IBM SJ, 45(3): — 2006. PP.- 515—526,
2. Grammel, B. & Voigt, K. (2009), 'Foundations for a Generic Traceability Framework in Model-Driven Software Engineering,' Proceedings of the ECMDA Traceability Workshop 2009.
3. Kannenberg A., Dr. Hossein Saiedian Why Software Requirements Traceability Remains a Challenge //P Visibility — CROSSTALK, Jul/Aug 2009 Issue
4. Maeder P., Riebisch M. and Philippow I.: Traceability for Managing Evolutionary Change — A Roadmap. In: Proceedings 15th International Conference on Software Engineering and Data Engineering (SEDE-2006), July 6 — 8, 2006, Los Angeles, California, USA. International Society for Computers and their Applications, 2006. pp 1—8

5. Prosyk P., Zhereb K. "A Criteria-Based Approach to Classifying Traceability Solutions" Proceedings of IEEE International EAST-WEST DESIGN & TEST SYMPOSIUM (EWDTS'07), Yerevan, Armenia. — 7–10 September 2007, p. 622–628.
6. Zachman J. A., Sowa J. F, Extending and formalizing the framework for information systems architecture // IBM Systems Journal. 1992, vol. 31, № 3, P. 590–561
7. Мадорская Ю.М. Формирование оценки изменений программного обеспечения АСУП // Научно-технические ведомости СПбГПУ, №1 (115) — 2011

## Моделирование непреднамеренного распространения информации пользователем

Макарова О.С., аспирант

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

*Задача данной работы — построение адекватной модели непреднамеренного распространения конфиденциальной информации. Используя эту модель, можно будет построить зависимость скорости, фронта и формы волны непреднамеренного распространения конфиденциальной информации (с учетом характеристик информации полноты и актуальности) от поведения пользователей данной информации и третьих лиц, понять уязвимые места существующих средств защиты и предложить оптимальное решение проблемы непреднамеренного распространения конфиденциальной информации.*

*В данной работе, в начале, обосновывается актуальность и практическая значимость построения модели непреднамеренного распространения информации. Далее описывается математический аппарат, используемый при построении модели, а также существующие модели распространения информации. Проводится анализ отличительных признаков процесса распространения конфиденциальной информации, от процессов распространения инновации, представленных в существующих моделях. В основной части данной работы приводится описание структуры и правил поведения модели непреднамеренного распространения конфиденциальной информации, а также свойств информации и пользователя, отслеживаемых в модели. В заключении проводится анализ полученных результатов.*

### Введение

Обеспечение защиты информации от ее непреднамеренного распространения крайне важный и многогранный вопрос. В соответствии со статистическими данными соотношение внешних и внутренних угроз на усредненном уровне можно охарактеризовать так[6]:

- 82% угроз совершается собственными сотрудниками организации либо при их прямом или опосредованном участии;
- 17% угроз совершается извне — внешние угрозы;
- 1% угроз совершается случайными лицами.

Самая большая угроза раскрытия конфиденциальности информации исходит от сотрудников организации. Данный аспект всегда учитывается при построении политики безопасности в организации. В каждом конкретном случае специалисты экспертным способом[7] оценивают актуальность той или иной угрозы. Для того чтобы предупредить непреднамеренное распространение конфиденциальной информации в организации, кроме организационных мер защиты, используют программно-аппаратные средства защиты, например SecretNet, Zlock и т.д. Принцип работы этих средств описан в статье Ногин[8]. Тем не менее, эти средства не всегда помогают и процент угроз, связанных с непреднамеренным распространением, все равно достаточно велик. Так 32% разглашений конфиденциальной

информации происходят из-за излишней болтливости сотрудников, 24% — из-за несоблюдения или неверного построения политик безопасности, 24% — путем подкупа и склонения к сотрудничеству сотрудников организации со стороны конкурентов и преступных группировок [6, 8].

Для нахождения решения данной проблемы необходимо определить условия, при которых конфиденциальная информация может быть непреднамеренно передана третьим лицам, критичность утечки для организации (актуальность и полнота раскрытой информации).

Поэтому задача данной работы построить адекватную модель непреднамеренного распространения конфиденциальной информации. Впоследствии, используя эту модель, можно определить зависимость скорости, фронта и формы волны распространения конфиденциальной информации (с учетом характеристик информации полноты и актуальности) от поведения сотрудников и третьих лиц, понять уязвимые места существующих средств защиты и предложить оптимальное решение проблемы непреднамеренного распространения конфиденциальной информации.

### Характеристика математического аппарата, используемого при построении модели

При исследовании применялся математический аппарат клеточных автоматов. Данный математический ап-



парат удобно использовать для моделирования нелинейно изменяющихся процессов с большим количеством параметров. Клеточные автоматы характеризуются следующими правилами:

- буферизация информации, обновление состояния клетки должно происходить только, когда клетки знают свое новое состояние;
- обновление всех клеток происходит одновременно;
- правила поведения клетки локальны и повсюду одинаковы, клетка вычисляет свое положение по состоянию соседей;
- каждая клетка содержит значение свойств клетки;
- время в модели дискретное (дискретные шаги);
- количество состояний клетки конечно;
- края поля сетки клеток соединены друг с другом образуя тор.

Выполнение этих правил позволит построить модель, описывающую нелинейное взаимодействие клеток, при этом сохранить причинно-следственную связь модели и ее автономность (замкнутость в себе) [2].

Клеточные автоматы полностью определяются начальными условиями, правилом перемещения клетки или распространения ее свойств, а также видом и размером сетки клеток. Поэтому в модели предложены правила перемещения носителей (клетки первого слоя) и распространения информации (клетки второго слоя), адекватно характеризующие поведение реальных систем.

### **Анализ существующих моделей распространения информации**

Модели процессов распространения информации или инновации представлены в различных работах по маркетингу, биологии и средствам массовой информации (Ландэ [3], Конвей [4], Guseo [5] и других авторов). При построении этих моделей использовался тот же математический аппарат клеточных автоматов. Тем не менее, в модели, рассматриваемой в данной работе, есть отличия от вышеуказанных работ. Отличие моделей обусловлено отличием процесса распространения конфиденциальной информации от процесса распространения инновации.

В моделях [3, 5] рассматривалась не секретная информация, а скорее наоборот, информация, требующая скорейшего распространения — данные о продукте или услуге, которую нужно продать. А значит, рассматривался вопрос принятия или непринятия инновации (информации) в соответствии с заданным правилом. В данной работе рассматривается вариант непреднамеренного распространения конфиденциальной информации, т.е. информации, которую необходимо скрыть. Поэтому необходимо рассмотреть вопрос не только принятия информации, но и ее передачи, и условия при которых такая передача возможна.

В работе [3] использовалась однослойная модель с одним свойством, а в работе [5] однослойная модель с несколькими свойствами, учитывающимися в пра-

виле принятия решения. В данной работе рассматривается двухслойная модель. В первом слое рассматриваются характеристики субъекта (сотрудника) — носителя и правила его перемещения. Во втором слое, как и в существующих работах, рассматриваются характеристики информации и правила ее распространения. Факт перемещения носителя является ключевым. Так как если сотрудники вообще не будут выходить за пределы организации, то и утечка информации путем непреднамеренного распространения информации будет минимальна. Таким образом, второй слой зависит от первого слоя. Для каждого из слоев существует свое правило, в каждом слое клетки обладают своим перечнем свойств. В модели, рассматриваемой в данной работе, в отличие от моделей [3, 4, 5] введены дополнительные свойства клеток как: роль носителя, полнота получаемой информации.

### **Структура и правила поведения клеток в модели непреднамеренного распространения конфиденциальной информации**

Объектом моделирования, в данной работе, являются процессы непреднамеренного распространения конфиденциальной информации. В результате проектирования определяется зависимость распространения прагматических свойств информации, таких как целостность, конфиденциальность и своевременность, от роли и характеристики носителя информации. При исследовании отслеживаются такие свойства информации как скорость, полнота и актуальность раскрытой информации.

В модели выделены два слоя клеток: слой носителей и слой информации. В качестве факторов рассматривается: тип окрестности (Мура или Марголиуса [2], при выполнении правил будем учитывать состояние самой клетки [2]), тип используемого правила передачи информации, способ перемещения носителя.

Рассмотрим более детально характеристики слоев модели и правила перемещения носителей и распространения информации.

### **Характеристика слоя носителей информации**

Первый слой — это слой носителей. Для понимания функционирования этого слоя необходимо рассмотреть реальную ситуацию непреднамеренного распространения конфиденциальной информации.

Сотрудники организации работают с конфиденциальной информацией, и могут выносить эту информацию за пределы организации. Сотрудник может находиться как на территории организации, так и за ее пределами: дома, на встрече с друзьями, коллегами, в общественных местах. В процессе своего движения сотрудник может встречать людей заинтересованных в информации, которой он обладает. Сотрудник может делиться информацией, находясь в любом месте. Способ и условия передачи информации приводятся в описании второго слоя.

Данный слой характеризуется свойством носителей и правилом их перемещения. Основное свойство носителя — роль носителя. Вводятся следующие роли носителей.

— Пользователь — сотрудник организации, обладающий конфиденциальной информацией, и способный ее распространять легально на территории организации и непреднамеренно за территорией.

— Субъект 1 — человек, которому Пользователь может непреднамеренно рассказать конфиденциальную информацию, в качестве Субъекта 1 могут выступать родственники, друзья, знакомые и даже неизвестные люди.

— Субъект 2 — человек, которому Субъект 1 может рассказать конфиденциальную информацию.

Правило перемещение носителей информации можно описать, основываясь на принципах хаотического и целенаправленного движения газа. Действительно, движение группы людей может носить как хаотический, так и целенаправленный характер. В свободное от работы время движение группы людей напоминает хаотическое движение газов (двух или более в зависимости от количества рассматриваемых ролей) в сообщающихся сосудах (некотором замкнутом пространстве города). Процесс движения группы людей можно представить следующим образом.

— Первый сосуд нагревают. Газы 1 типа скапливаются в первой трубки (место нахождения Субъектов в рабочее время). Газы 2 типа скапливаются во второй трубке (место нахождения Пользователей при движении по территории предприятия).

— Нагрев прекращают. Происходит обратная диффузия газов и продолжается хаотическое движение (движение Пользователей и Субъектов во вне рабочее время).

Таким образом, правила перемещения клеток этого слоя можно описать с помощью следующих детерминированных правил (более подробно про детерминированные правила см. [2]):

- все носители движутся хаотически;
- носители при столкновении обмениваются местами;
- на сетке клеточного автомата существует псевдограница в виде квадрата (прямоугольника), как только Пользователь (клетка первого слоя, окрашенная в определенный цвет) подходит в процессе хаотического движения к этой псевдогранице, Пользователь тут же приобретает детерминированный характер движения и стремится к центру квадрата. В этом секторе (территория предприятия) идет легальное взаимодействие Пользователей на работе. Как только Пользователь достиг центра этого квадрата он стремится за его пределы, где продолжает хаотическое движение;
- остальные носители — Субъекты наоборот при достижении границы вынуждены отойти за ее пределы, вероятность шага в сторону границы 0.

Этот слой полностью определяет первую часть правила распространения информации второго слоя, так как за каждым носителем закреплена некая инфор-

мация, которой он владеет — клетка второго слоя. Изначально формируется первый слой носителей, он может не полностью, заполнять сетку. Во втором слое каждой клетке информации соответствует своя клетка носителя. Таким образом, над каждой клеткой носителя располагается клетка информации. Над пустыми клетками первого слоя — пустые клетки второго слоя. После того как в соответствии с выше приведенным правилом клетки первого слоя переместятся на один шаг, клетки второго слоя с информацией, осуществят точно такое же перемещение. Опять придем к ситуации, что над каждой клеткой носителя располагается клетка с информацией. Далее клетки второго слоя должны осуществить перемещение — распространение информации, в соответствии с правилом описанным ниже. На следующем этапе происходит перемещение носителей и т.д. Частным или вырожденным случаем первого слоя будет являться ситуация, когда носители не осуществляют движение. Исключение из рассмотрения второго слоя приводит к моделям, представленным в работах [3, 4, 5].

Кроме того в модели введены два псевдососеда, ниже приведена их характеристика:

— псевдососед-время является временным фактором системы, осуществляет подсчет шагов, выполненных системой в целом;

— псевдососед-актуальность является фактором характеризующим процесс старения информации, осуществляет подсчет носителей перешедших псевдограницу. В данной модели считается, что информация актуальна, пока половина носителей (роль — Пользователей) не перешла псевдограницу и не попала в организацию.

Используя псевдососедей, можно отследить время жизни актуальность, степень актуальности и скорость распространения конфиденциальной информации.

Далее описан принцип функционирования второго слоя — принцип распространения информации. Для анализа условий разглашения конфиденциальной информации отслеживается изменение свойств информации каждой клетки. Поэтому каждая клетка этого слоя хранит данные о полноте конфиденциальной информации, которой она обладает. Общие правила, характеризующие порядок непреднамеренного распространения конфиденциальной информации приведены ниже:

— тезаурусы носителей информации, выступающих в роли источника и получателя, частично совпадают на синтаксическом и семантическом уровнях, т.е., они говорят на одном языке, и получатель понимает, о чем говорит источник;

— тезаурус у источника больше, т.е. он более информирован, т.е. рассматриваем только конфиденциальную информацию;

— информация распространяется в направлении меньшего тезауруса;

— тезаурусы частично совместимы на прагматическом уровне, и, по крайней мере, получателю интересна поступающая информация, но получатель лишь частично

может воспринять, то о чем говорит источник (человек запоминает лишь часть информации, которую он считает значимой, упуская некоторые факты, данные.[1]);

- тезаурус получателя не может сравняться с тезаурусом источника при однократном обмене;

- тезаурусы получателей равноправны, т.е. если источник передает информацию, то все получатели в его окрестности могут ее получить;

- среда передачи информации не искажает и шума не содержит.

Таким образом, Субъект 1к не сможет получить всю информацию только от одного Пользователя, аналогично и Субъект 2к. Кроме того, непреднамеренное распространение — это вероятностное событие, зависящее не только от внешних факторов, наличия субъектов, но и внутренних факторов (состояние носителя). Соответственно, распространение информации описывается вероятностными правилами [2]. Факт же принятия информации можно определять по детерминированному правилу [2]. Таким образом, правило непреднамеренного распространения (передачи и приема) информации зависит от роли носителя, обладающего этой информацией, схемы расположения носителей, а соответственно и клеток информации, на данном шаге. Для удобства анализа и понимания правило непреднамеренного распространения информации представлено двух уровневым:

- на первом этапе — принятие решения Пользователем или Субъектом о передаче информации;

- на втором этапе — принятие решения о приеме информации Субъектом.

В модели учитываются следующие варианты принятия решения о передаче информации: вероятностный, детерминированный и вероятностно-детерминированный.

Принятие или непринятие решения происходит случайным образом при вероятностном подходе с помощью датчика случайных чисел, у которого задается параметр процентного соотношения между выпадением 0(не передает) и 1(передает). Для каждого Пользователя системы датчик будет запускаться независимо.

Правила принятия решения о передаче при детерминированном подходе описаны ниже (выполнение правил должно идти последовательно, если условия выше расположенного правила выполняются, то дальнейшее выполнение правил прекращается) для каждой роли носителя.

Правила принятия решения о передаче для Пользователя:

- Пользователь никогда не передает информацию, если в окрестности есть Субъект 2к;

- Пользователь никогда не передает информацию, если в его окрестности находится больше 2 Пользователей;

- Пользователь всегда передает информацию Субъекту 1к.

Правила принятия решения о передаче для Субъекта 1к следующие:

- Субъект 1к никогда не передает информацию, если в окрестности есть Пользователь;

- Субъект 1к всегда передает информацию Субъекту 2к.

Правила принятия решения о передаче для Субъекта 2к следующие:

- Субъект 2к никогда не передает информацию, если в окрестности есть Субъект 1к.

- Субъект 2к всегда передает информацию Субъекту 2к.

Вероятностно — детерминированный подход отличается от детерминированного только последним правилом для всех типов носителей (Пользователь передает информацию Субъекту 1к по вероятностному правилу, Субъект 1к передает информацию Субъекту 2к по вероятностному правилу, Субъект 2к передает информацию Субъекту 2к по вероятностному правилу).

Выше приведенные особенности непреднамеренного распространения конфиденциальной информации позволяют определить правила приема информации как детерминированные. Они выглядят следующим образом.

- Субъект 1к всегда принимает информацию. Воспринимает Субъект 1к лишь 1/8 часть информации (из допущений о Субъекте). Таким образом, Субъект 1к получает всю информацию, если в окружении Субъекта 1к находится одновременно 8 Пользователей за один шаг, или если Субъекта 1к за некоторое число шагов окажется в окрестности 8 Пользователей.

- Субъект 2к всегда принимает информацию от Субъекта 1к. Воспринимает Субъект 2к лишь половину информации (из допущений о Субъекте). Соответственно 1/16 от всей информации Пользователя.

## **Результаты**

В данной работе был выявлен основной источник угроз информационной безопасности. Раскрытие конфиденциальной информации в 32 случаях из 100 происходит из-за непреднамеренного разглашения конфиденциальной информации сотрудниками организации. Анализ имеющихся моделей распространения информации и процессов непреднамеренного распространения конфиденциальной информации выявил отличительные особенности.

Так при построении модели непреднамеренного распространения информации важно:

- выделить роли носителей, обладающих информацией;

- рассмотреть не только правило распространения информации, но и правило передвижения носителей, обладающих информацией;

- в правиле распространения информации необходимо учитывать не только условия приема, но и условия передачи информации.

Были выделены свойства информации, которые в данной модели будут отслеживаться в зависимости от начальных условий:

- скорость распространения конфиденциальной информации;

- актуальность полученной конфиденциальной информации;

— полнота полученной конфиденциальной информации.

При построении модели применялся математический аппарат клеточных автоматов. Клеточные автоматы полностью определяются начальными условиями, правилом перемещения клетки или распространения ее свойств, а также видом и размером сетки клеток. Поэтому в модели предложены правила перемещения носителей и распространения информации, адекватно характеризующие поведение реальных систем. В качестве факторов рассматривается: тип окрестности (Мура или Марголиуса[2], при выполнении правил учитывается состояние самой клетки [2]), тип используемого правила передачи информации, способ перемещения носителя.

В дальнейшем при создании визуальной модели планируется исследовать массив схем расположения но-

сителей информации и выявить типовые. Планируется оценить влияние того или иного фактора на процесс распространения. При визуализации необходимо использовать цветовую гамму градаций серого, для наглядности представления фронта и скорости распространения клеток второго слоя.

Результаты, полученные при тестировании данной модели при различных начальных условиях, позволяют:

- определить зависимость скорости, фронта и формы волны распространения информации, ее полноту и актуальность от поведения носителей информации;
- понять уязвимые места существующих средств и политик защиты;
- предложить оптимальное решение проблемы непреднамеренного распространения конфиденциальной информации.

### Литература

1. Васильева. Е.Е. Законы памяти и техники эффективного запоминания. Журнал «Охранная деятельность Вып. 6. — 2010г.
2. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991.
3. Ландэ Д.В. Модель диффузии информации. Информационные технологии и безопасность. Менеджмент информационной безопасности. Сборник научных трудов Института проблем регистрации информации. — Вып. 10. — 2007.
4. Конвей Дж., Слоэн Н. Упаковки шаров, решётки и группы. В 2 т. М.: Мир, 1990.
5. Guseo R., Guidolin M. Cellulae Automata and Riccati Equation Models for Diffusion of Informations. Statistical Methods & Applications, 2008, Volume 17, Number 3.
6. Корнюшин П.Н., Костерин А.С. Информационная безопасность: Учебное пособие. — Владивосток: ТИДОТ ДВГУ, 2003.
7. Приложение к Приказу ФСТЭК России от 5 февраля 2010 г. N 58 Об утверждении положения о методах и способах защиты информации в информационных системах персональных данных, зарегистрировано в Минюсте РФ 19 февраля 2010 г. N 16456.
8. URL: <http://www.meta.kz/103433-kazhdyjj-vtorojj-britanec-beret-rabotu-na.html> (дата обращения: 14.02 2011).
9. Joerg H., Data-leak prevention and encryption: Tools that can work together. Network World, 2008.

## Моделирование функционирования систем регенерации воздуха для расчета их надежности

Меркурьев Ю.М., адъюнкт

Военно-морской инженерный институт (филиал) Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»

Системы регенерации воздуха — это сложные технические системы, предназначенные для обеспечения обитаемости гермообъектов по газо-воздушной среде.

Современные системы регенерации в своем составе имеют различное оборудование, систему автоматического управления, обеспечивающую целый ряд функций: управление, автоматическую защиту, сигнализацию, регулирование.

Выход из строя хотя бы одного элемента обычно приводит к выходу системы в целом. Выведенная из строя сис-

тема ведет к ухудшению химической обстановки гермообъекта.

Надежность техники всегда была одной из основных инженерных проблем, которой уделялось большое внимание. Однако за последние 50—60 лет проблема надежности значительно обострилась и приобрела более тяжелую форму. Это обусловлено главным образом следующими основными причинами:

- Увеличение сложности современной техники.
- Усиление интенсивности режимов работы систем и элементов.



- Сложность условий эксплуатации технических систем.
- Повышение требований к качеству, точности и долговечности.
- Усиление ответственности выполняемых функций.
- Полная или частичная автоматизация процессов эксплуатации.

Актуальность и сложность этих проблем постоянно увеличиваются: одно из основных противоречий в развитии техники заключается в том, что увеличение сложности и связанное с ним снижение надежности техники сопровождается повышением требований к надежности.

Основная задача теории надежности — выбор оптимальных технических решений при проектировании, конструировании, изготовлении, транспортировке, хранении, монтаже, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте, обеспечивающих сохранение основных технических характеристик технических объектов и их элементов в течение необходимого промежутка времени в определенных условиях эксплуатации.

Основным источником достоверной информации о надежности технического объекта являются экспериментальные исследования и результаты эксплуатации. Однако сложность, уникальность и высокая стоимость систем регенерации практически исключают возможность использования традиционных эмпирических и полуэмпирических методов проектирования и физических экспериментальных исследований. В большинстве своем системы регенерации полностью не исследованы даже в течение всего периода эксплуатации, при этом опытная проверка в аварийных ситуациях их просто невозможна. Вместе с тем случайный характер явлений и процессов, происходящих в данных системах и их элементах, сложность, нелинейность и нестационарность характеристик затрудняют технические расчеты.

Кроме того, системы регенерации обладают высокой надежностью, например система регенерации АСТРА-35—М имеет показатель надежности  $P(t) = 0,9$  отнесенный ко времени в 5000 часов [3], и их полномасштабные лабораторные испытания должны занимать тысячи часов. Использование же методов ускоренных физических испытаний не всегда приводит к искомому результату, поскольку любые процессы в элементах и системах протекают в определенных интервалах параметров и нагрузок, выход за пределы которых может привести к появлению дополнительных эффектов и механизмов отказов, что, естественно, вызовет искажение получаемых результатов. С другой стороны, экспериментальные исследования остаются практически единственным источником достоверных сведений и исходных данных для расчетов надежности и обойтись без них иногда просто невозможно.

Перечисленные причины в ряде случаев при проектировании и исследовании надежности создают непреодолимые преграды и приводят к необходимости разработки и использования новых, часто нетрадиционных методов. В

частности, для решения многих исследовательских и проектных задач в инженерной практике широко используются методы имитационного моделирования процессов и систем, в том числе на электронных вычислительных машинах. При этом исследуется не сам технический объект, а его физическая или математическая модель в виде алгоритма функционирования, отражающая все основные существенные свойства и характеристики объекта. Основной целью имитационного моделирования является получение новой информации о свойствах, характеристиках и поведении изучаемого реального технического объекта.

Благодаря моделированию в ряде случаев удается окануться от грубых допущений, применяемых при расчетах надежности технических объектов. Вместе с тем моделирование дает возможность при минимальных затратах предсказать результаты функционирования технических объектов или технологических систем.

Математическое моделирование — процесс создания имитирующей математической модели и ее использование с целью получения сведений о реальном объекте. Математическое моделирование является альтернативой физическому моделированию, но у него есть ряд существенных преимуществ: меньшие сроки на подготовку, значительно меньшая материалоемкость (особенно при исследовании крупногабаритных объектов), возможность выполнения экспериментов на критических и закритических режимах, которые привели бы к разрушению образца, и др.

Рассмотрим процесс моделирования сложной системы [1, 2], представленный на рисунке 1.

Блоки 1,2,3 представляют операции по исследованию одного варианта модели. Эти операции повторяются при различных реализациях случайных процессов, образуя внутренний цикл моделирования (цикл I). Процедура выбора оптимального варианта моделируемой системы (блок 4) управляет экспериментом путем изменения соответствующим образом вариантов модели. При этом блоки 1,2,3 (внутренний цикл) охватываются цепями обратной связи (цикл II). Связь 3—4—2 отражает адаптацию моделируемой системы. Связь 3—4—1 может возникнуть, если при оптимизации варьируется не только модель системы, но и модель случайных воздействий, рассматриваемых, например, как описание конфликтующей стороны.

Оценка результатов исследования вариантов модели оказывается типовой операцией (цикл I), многократно выполняемой как в динамическом цикле корректировки модели (цикл III), так и в цикле оптимизации (цикл II): любой метод поиска экстремума основан на сравнении значений оптимизирующего показателя.

Таким образом, доминирующим в схеме (рисунок 1) является статистическое моделирование (цикл I).

В основе статистического моделирования лежит процедура, применяемая для моделирования случайных величин и функций, носящая название метода статистических испытаний (метод Монте-Карло) [4, 5].



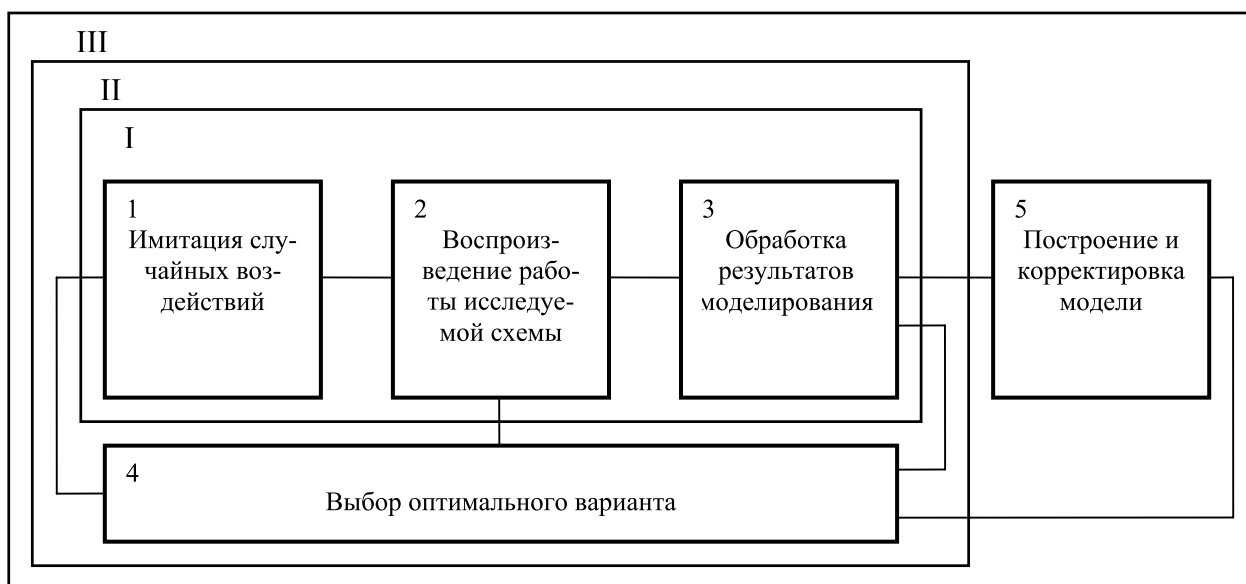


Рис. 1. Процесс моделирования сложной системы

Общая схема метода Монте-Карло может быть записана в виде:

$$\theta = \int y(x)p(x)dx \approx \tilde{\theta} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y(x_i), \quad (1)$$

$$x_i \approx p(x)$$

Результат ищется как математическое ожидание некоторой случайной величины  $Y$ , которая чаще всего является неслучайной функцией случайной величины  $X$ , имеющей распределение  $p(x)$ . Нестрогое выражение «случайная величина  $X$  имеет распределение  $p(x)$ » и запись  $X = p(x)$  означают для непрерывной случайной величины, что ее плотность вероятности равна  $p(x)$ ; для дискретной случайной величины функцию  $p(x)$  надо понимать как функцию вероятности. Для дискретной случайной величины интеграл (1) заменяется суммой  $\sum y(x)p(x)$ , в которой суммирование осуществляется по всем возможным значениям  $X$ . Функция  $y(x)$  может иметь несколько аргументов, т.е. зависеть от нескольких случайных величин. В таком случае запись (1) остается в силе, только интеграл надо считать многомерным,  $X$  рассматривать как вектор, а  $p(x)$  — как многомерную плотность (или функцию) вероятности. Приближенная оценка неизвестного математического ожидания, совпадающая с искомым результатом, находится как среднее арифметическое результатов независимых опытов. Это отражено в правой части (1). По закону больших чисел среднее арифметическое сходится к математическому ожиданию.

В каждом опыте разыгрывается реализация  $x$  случайной величины  $X$  (в  $i$ -м опыте реализация  $x_i$ ) в соответствии с распределением  $p(x)$  и вычисляется значение функции в виде  $y(x_i)$ . Индекс  $i$  подчеркивает, что для каждой ( $i$ -й) реализации процесса аргументы, составляющие вектор  $X$ , имеют свои случайные значения. Вычисленное очередное значение  $y(x_i)$  добавляется к накапливаемой сумме  $y(x_i)$ . На этом заканчивается очередной опыт. После того как проведено  $M$  опытов, вычисляется итоговая оценка в виде правой части выражения (1). Опыты повторяются до тех пор, пока дисперсия оценки  $\tilde{\theta}$  не снизится до требуемой величины, зависящей от допустимой погрешности и коэффициента доверия.

Один опыт дает одну реализацию (одно выборочное значение). Проводятся  $M$  опытов (испытаний), получается «статистический» материал (малая или большая выборка). Берется среднее арифметическое времени безотказной работы системы в качестве оценки надежности системы. При необходимости можно построить закон распределения вероятностей случайной величины в виде соответствующей гистограммы.

Ввиду большого объема вычислений методы статистического моделирования реализуются, как правило, с помощью средств вычислительной техники.

Конечной целью расчета надежности технических устройств, а в частности систем регенерации, является, выявление оптимальных конструктивных решений и параметров, определение наиболее эффективных режимов эксплуатации, стратегии текущего технического обслуживания и ремонтов.

### Литература

1. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. — М.: Высшая школа, 1989. — 368 с.
2. Плакс Б.И. Расчет надежности систем со сложной структурой ускоренным методом Монте-Карло // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. — 1983. — №6. — С. 158–162.

3. Система «Астра-35-М». Руководство по эксплуатации / ОАО «СКТБЭ» — М., 2003. — 154 с.
4. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. — М., 1973. — 212 с.
5. Хомяков Д.М., Хомяков П.М. Основы системного анализа. — М.: Изд-во МГУ, 1996. — 108 с.

## Необходимые решения для продления срока службы роторных экскаваторов

Милосердов Е.Е., ст.преподаватель

Сибирский федеральный университет (Красноярск)

Как известно, роторные экскаваторы — сложная машина непрерывного действия, в которой насчитывается большое количество (многие сотни) больших и малых элементов, каждый из которых имеет свой комплекс различных процессов, приводящих к отказам.

При этом разрушение и выход из строя одних элементов оказывает значительное влияние на работоспособность других функциональных узлов. Отсюда следует необходимость комплексности различных диагностических методов и средств для определения технического состояния машины и формирования комплексов технологий по восстановлению работоспособности.

При этом совершенно выпадает из поля анализа электрооборудование, в том числе приводы, изоляция и контакты, смазка, канаты и крепёж.

С целью дальнейшего совершенствования контроля технического состояния (КТС) и существующих диагностических технологий, повышения достоверности результатов для более точного определения ремонтных работ планируется комплектация центров технической диагностики (ЦТД) современными приборами по диагностике (оценке технического состояния) электродвигателей и генераторов, контролю состояния изоляции, экспресс — анализу смазочных масел и другими.

Для реализации возможности без образцового метода проведения металлографии в полевых условиях центр технической диагностики оснащается соответствующими переносными приборами. В ходе контроля технического состояния (КТС) экскаваторов решаются важные вопросы контроля оборудования в целом.

Обычно при анализе результатов теплового контроля электрооборудования учитываются следующие факторы: температурное поле, токовая нагрузка и тепловая энергия, излучательная способность поверхности.

Однако анализ возможности оценки технического состояния экскаваторов, результатов измерений основных параметров оборудования, задаваемый нормативной и технической документацией, показывает, что их явно недостаточно для обнаружения многих дефектов, выявленных в процессе эксплуатации, особенно на начальной стадии развития.

Для их обнаружения необходимо больше фактического материала — создание базы данных.

Для досрочного прогноза состояния оборудования (что крайне необходимо в современных условиях экс-

плуатации) необходимо не только обнаружить дефект, но и идентифицировать его (определить вид и величину), так как разные дефекты имеют разные скорости развития.

В связи с нахождением производителей роторных экскаваторов за пределами РФ, а также в силу экономических причин, участие их в определении и отслеживании технического состояния поставляемой в своё время техники носит нерегулярный, эпизодический характер либо отсутствует вообще [1].

Поэтому необходимо восстанавливать техническое и методологическое сотрудничество с данными предприятиями либо ставить соответствующие задачи перед ответственными изготовителями аналогичной или близкой по классу техники.

На повестку дня выходит проблема широкого привлечения таких предприятий к технической поддержке, модернизации производственного оборудования, а также к совместному формированию методической и нормативной базы для определения и контроля фактического состояния роторных экскаваторов.

Необходимым условием эффективной эксплуатации техники в современных условиях является реализация рациональных режимов ее нагружения. С одной стороны, техника должна обеспечивать высокую производительность, а с другой стороны — проявление пиковых нагрузок, режимов холостого хода и тому подобных явлений, неблагоприятных с точки зрения надежности и ресурсосбережения, должно быть минимизировано. Кроме того, для поддержания высокой технической готовности, с учетом удаленности горных предприятий от заводов-изготовителей оборудования, желательно обеспечить достаточно точное прогнозирование остаточного ресурса рабочих агрегатов и узлов машин.

Учет отказов при эксплуатации оборудования роторного экскаватора ЭРШРД-5250 на Березовском разрезе Сибирской угольной энергетической компании. Инструментом для выбора обоснованного универсального решения по выбору рекомендации режимов работы и назначению ресурсов техники может служить постоянный мониторинг режимов работы оборудования в виде контроля нагрузок, регистрации отказов, на основании которого возможно:

— контролировать качество работы оператора и обеспечивающих служб;

- осуществлять ресурсосберегающую настройку систем привода;
- определять показатели организационно-технологической эффективности, в том числе коэффициенты использования и технической готовности;
- прогнозировать остаточный ресурс узлов и агрегатов исходя из паспортных данных;
- в случае отказов агрегатов определять, что явилось истинной причиной отказа, исходя из изношенности того или же иного узла.

В эксплуатации необходима организация специального мониторинга [2].

Время наступления, тяжесть и место отказа формируется в отчетной документации обслуживающего персонала в виде журнала отказов. Данные по отказам в работе по разрезу дают возможность отследить и составить гистограмму отказов оборудования в зависимости от срока эксплуатации.

При работе роторного экскаватора ЭРШРД-5250 основные нагрузки испытывает не только металлоконструкция и рабочие органы, но и электрооборудование приводов в виде электродвигателей. В случае отказа оборудования, его замены делается соответствующая запись.

Анализ отказов оборудования ЭРШРД-5250, произошедших со времени начала эксплуатации их в Сибирской угольной энергетической компании, выполненный с точки зрения взаимодействия электроприводов с внешней средой, показал, что значительная доля отказов связана с факторами технического характера.

Количество отказов за весь период эксплуатации, обусловленных взаимодействием элементов человек-машина, составляет 25–35 % для ЭР ШРД-5250, используемых на Березовском разрезе. Количество произошедших отказов, в результате взаимодействия основных приводов с забоем, — 60–70 %, что обусловлено резким перепадом нагрузок до начала взаимодействия с забоем и во время экскавации.

Воздействие человеческого фактора на работу оборудования с последующим его отказом незначительно, это обусловлено меньшей интенсивностью вмешательства машиниста ЭР в работу.

Анализ потока отказов электрооборудования позволяет сделать следующие выводы: простейший характер потока отказов системы дает возможность исследовать её надежность моделированием и простым суммированием потоков отказов за определенный промежуток времени эксплуатации.

Для продления срока службы имеющихся в парке Сибирской угольной энергетической компании (СУЭК) роторных экскаваторов необходимы новые методические разработки, которые должны быть приняты к рассмотрению и внедрены в «Программу и методику испытаний для роторных экскаваторов с истекшим сроком службы с целью определения возможной их дальнейшей эксплуатации». Кроме того, материалы диссертационной работы, возможно, использовать в учебном процессе, при выполнении курсовых и дипломных проектов по оценке надежности горнодобывающей техники.

Необходимы исследования по моделированию и оценке технического состояния узлов и систем роторного экскаватора, с помощью которых существует возможность определения критических нагрузок при текущем техническом состоянии роторного экскаватора. Для этого необходимо внедрение:

- модулей приводов движения ротора и хода экскаватора, механизма разгрузочной консоли, формирования движений и пространственного положения экскаватора и его частей;
- аналитических моделей для определения величины линейных и угловых скоростей работы органов экскаватора, производительности экскаватора, количества горной массы, транспортируемой конвейерами, статических моментов от нагрузок при резании, усилий для подъема и опускания разгрузочной консоли, ветровой нагрузки, силы трения качения, пространственного положения рабочих органов экскаватора в забое, количества срезаемой горной массы;
- алгоритмов динамической модели ходового движителя роторного экскаватора, опорных реакций на гусеничных тележках, сопротивлений прямолинейному передвижению, величин тяговых усилий, сопротивлений динамических нагрузок при движении роторного экскаватора.

## Литература

1. Экскаватор роторный ЭРШРД 5250. Инструкция по эксплуатации.
2. Минуглепром СССР. Академия наук СССР. Институт горного дела им. А.А. Скочинского. Критерии предельных состояний элементов механической и гидравлической систем карьерной оборудования. II редакция. — Москва 1989 г.

## Увеличение эффективности эксплуатации транспортных средств за счёт применения механизации производственного процесса

Минько Р.Н., аспирант

Самарский государственный университет путей сообщения

Транспорт связывает воедино все отрасли страны, обеспечивает непрерывность производства, и является одной из главных инфраструктурных отраслей, наиболее активно влияя на развитие страны.

Объем производства на промышленном транспорте требует ускорения технического прогресса, увеличения мощности всех технических средств, обновления основных фондов, улучшения их использования. Развитие производства во многом формируется техническим прогрессом. Разработка и внедрение новейших конструкций и механизмов, соответствующих требуемому современному уровню развития науки и техники ведёт к увеличению эффективности производства и обеспечивает механизацию производства.

Статистика свидетельствует, что 95 – 98% времени нахождения материала на предприятии идёт на выполнение транспортно-складских и погрузочно-разгрузочных работ. Этим объясняется их высокая доля в цене выпускаемой продукции [1].

Главным условием высокой эффективности труда является научно-технический прогресс. Он вносит существенную экономию труда работников за счет механизации и автоматизации производства. При этом высвобожденные активы требуется направить на постройку заводов и предприятий, увеличение эффективности производства.

Уровень механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских операций с развитием контейнеризации значительно возрос. Современная стратегия развития транспортного комплекса предполагает создание новых машин и механизмов, повышение уровня механизации производства для обеспечения продукцией необходимого качества с минимальными затратами.

Транспортировка грузов железной дорогой осуществляются полувагонами, контейнерами, специализированными вагонами. Нарушение ритма погрузочно-разгрузочных операций ведёт к увеличению времени простоя вагонов и других транспортных средств.

Для перевозки металлической стружки используются автомобили и цельнометаллические вагоны моделей 12–515, 12–523, 12–726 грузоподъемностью около 60 т [2]. Для сравнения: один час эксплуатации автомобиля ЗИЛ 6 т составляет 480 руб., Маз 10 т – 600 руб., суточная аренда вагона составляет 1000 руб. Поэтому вопрос рационального использования транспортных средств очень актуален.

Данная проблема существует на большинстве металлообрабатывающих предприятий. Для достижения поставленных целей требуется выработать комплекс мероприятий, направленных на улучшение принципов

организации, методов планирования производства, внедрения новых технологических процессов; качественного преобразования уровня проектирования и изготовления механизмов.

Оптимизация запасов материалов – это одна из центральных проблем, стоящих перед предприятиями. Содержание запасов требует отвлечения финансовых средств, использования значительной части материально-технической базы.

Ежедневный вывоз из металлообрабатывающих цехов металлических отходов, хранение и перевозка для сдачи неэкономичны, так как полезный объем бункеров и кузовов транспортных средств используется не в полной мере. Необходимо измельчать выходящую стружку для уменьшения объема металлолома при складировании и транспортировке металлических отходов для переплавки на металлургические заводы (рис. 1).



Рис. 1. Большие объемы утилизируемой стружки

Ассортимент продукции выпускаемой с отходами металлической стружки обширен, и форма организации производственного процесса на различных предприятиях сильно различается. Наведя порядок на производстве, уже сейчас практически без дополнительных затрат возможно получить значительные объемы прибыли.

Экономические затраты, расходуемые на поддержание потенциала предприятия увеличивают издержки, ослабляют заводы. Расширение производства, инновации, жесткость по отношению к монетарной политикой должны стимулировать машиностроение и другие отрасли производства.

На Куйбышевской железной дороге в вагонных депо утилизация отходов металлической стружки после обработки точением колёсных пар станком «Рафомет» производилась без измельчения и прессования объемов



стружки. Что требовало значительных затрат, а именно: погрузка и выгрузка в кузова вагонов и автомобилей при помощи кранов большого объёма и малого веса стружки.

В условиях ограниченных ресурсов требуются соответствующее обоснование, обстоятельные расчёты очередности и комплексности планомерного проведения коренной реконструкции технических средств в соответствии с ростом производства, обслуживаемого транспортными цехами.

Автором предложено усовершенствовать технологию утилизации металлических отходов вагонного депо путём уменьшения объёмов стружки после токарной обработки колёсных пар.

Вывоз металлической стружки из вагонного депо раз в две недели уменьшит материальные затраты при транспортировке и сдаче вторсырья. Основой любого цеха или участка служит производственный процесс, под которым подразумевают организацию — совокупность технологии и труда рабочих.

По предложенной технологии металлические отходы производства перед транспортировкой измельчают путём дробления на стружколоме (рис. 2).

Стружколом состоит из электродвигателя 1, ременной передачи 2, редуктора 3, загрузочного бункера 4, вращающегося вала 5 со сменными ножами 6, подшипников 7, накопительного бункера 8 (рис. 2).

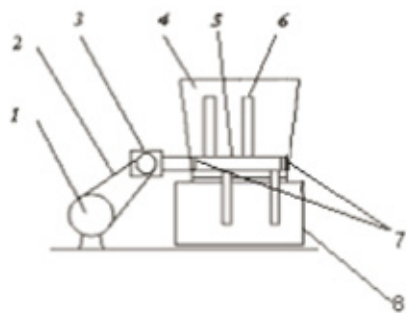


Рис. 2. Схема стружколома

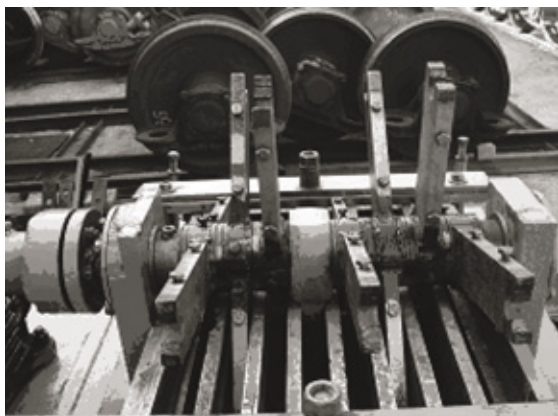


Рис. 3. Механизм изготовлен из вторично использованного металла

Ввиду проводимых экономических преобразований производство перешло на рыночные способы регулирования распределения ресурсов. Предприятия стремятся приобрести наиболее недорогое и, как следствие, быстроокупаемое оборудование [3].

Существующая конкуренция в данном секторе привели к разработке механизмов средствами предприятия.

Изготовление механизма предполагает малые затраты и небольшой расход металла потому как, стружколом был изготовлен из отходов производства вагонного депо, использование которого возможно ввиду малых оборотов и нагрузок ведущего вала (рис. 4).

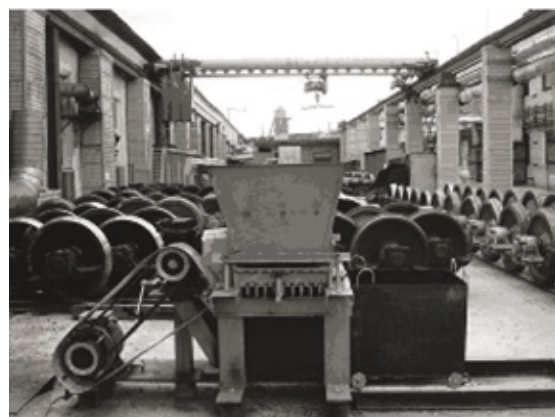


Рис. 4. Разборный стружколом (общий вид)

Принцип действия стружколома: металлолом загружается в приёмный бункер с установленными в нём ножами. Оператор включает электродвигатель, приводящий через ременную передачу в движение вал со сменными режущими ножами, которые дробят металлические отходы в стружку.

Продолжительность измельчения составляет 25–30 сек. для стружки, получаемой при обработке одной колёсной пары. Универсальная конструкция стружколома позволяет проводить его сборку-разборку в течении 3–4 часов. Применение реверса изменяет направление вращения ножей во избежание больших нагрузок и возможности поломок. Механизм не требует высокой квалификации рабочего персонала. Конструкция проста в эксплуатации, существует возможность его использования как в помещении, так и на открытом пространстве. Контроль и управление стружколома осуществляется с трехтактного пульта при нажатии кнопки при визуальном контроле натяжения шкивов, который контролируется работником.

Центральное место в экономике занимают проблемы организации производства и эффективность использования ресурсов. Проведённые расчёты показали возможность сокращения издержек за счёт уменьшения объёмов стружки. Также уменьшилась площадь хранения, устранена необходимость использования полупустых вагонов и других транспортных средств, вывозящих металлолом. Известны случаи возврата вагонов грузополучателем



ввиду несоответствия принимаемого металлолома требуемым характеристикам (большого объёма при малом весе). Исключены сложности при погрузке-выгрузке (зацепы, малая подвижность) (рис. 5). Требования, предъявляемые к качеству существующих механизмов, ведут к необходимости проведения испытаний, позволяющих определить параметры надежности с целью оценки их соответствия требованиям эксплуатации.



Рис. 5. Измельченная стружка в накопительном бункере

По окончании испытаний стружколома был составлен акт внедрения механизма. Самый распространенный показатель характеризующий инновацию — увеличение производительности и экономия ресурсов.

Проведённые расчёты позволили сделать выводы о высокой экономической эффективности созданной конструкции.

Внедрение аналогичных механизмов обеспечивает научно-технический прогресс и улучшает условия труда. Проведённые исследования помогли в создании модели поведения грузов в бункерах и кузовах транспортных средств. Использование стружколома позволило сокра-

тить в четырнадцать раз площадь складирования металлической стружки.

Годовой экономический эффект только от увеличения коэффициента использования подвижного состава при транспортировке стружки составил 95 тыс. рублей.

Благодаря проведённым исследованиям была выявлена закономерность между параметрами применяемых конструкций, видом материала и скоростью его разгрузки. На этой основе создана программа (рис. 6) отображающая процессы, происходящие в емкостях хранения и транспортировки.

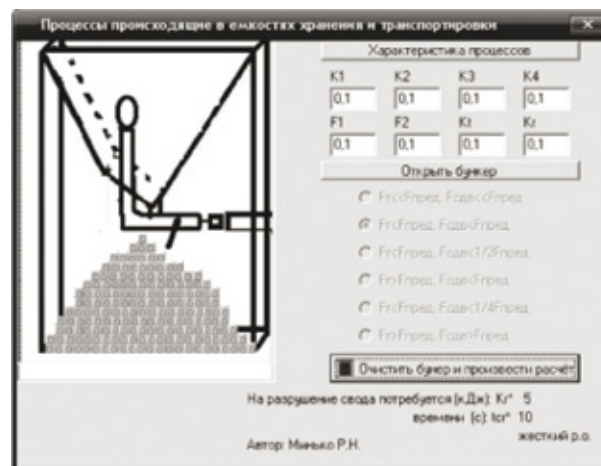


Рис. 6. Программа, отражающая поведение разгружаемого материала

В результате проведённой работы создана энерго-ресурсосберегающая технология стимулирования разгрузки слежавшегося материала. Программа и конструкция стружколома защищены законодательством.

### Литература

1. Третьяков Г.М. Контейнерно-транспортные системы в агропромышленном комплексе / Под ред. докт. техн. наук, чл. -корр. Россельхозакадемии А.А. Артюшина. — М.: Колос-Пресс, 2002
2. Лукин В.В. Вагоны. Общий курс. Учебник для вузов ж. — д. Трансп./ Под ред. Лукина. — М.: Маршрут, 2004
3. Дмитриев В. А. Экономика промышленного железнодорожного транспорта: Учебник для вузов / Под ред. В. А. Дмитриева. — М.: Транспорт, 1989

## Сверлящие перфораторы с электрогидравлической системой и логическим управлением

Митягина М.О., магистрант

Уфимский государственный авиационный технический университет

Перфорация является важным элементом при строительстве скважины и её эксплуатации, т.к. должна осуществлять качественную связь пласта коллектора со скважиной. От качества проведения перфорации зависит создание оптимальных режимов эксплуатации, продолжительность

работы скважины, её дебит, обводненность продукции и последующее безаварийное проведение различных геолого-технических мероприятий и технологических операций. Способ перфорации обсадной колонны должен обеспечивать создание перфорационных каналов, позво-



Рис. 1. Классификация перфораторов для проведения вторичного вскрытия пластов



Рис. 2. Основные свойства аппаратуры для вторичного вскрытия пластов

ляющих без осложнений длительное время и с полной отдачей эксплуатировать продуктивный пласт [1, с. 81].

В настоящее время существует два основных типа перфорации: кумулятивными зарядами и механические методы вскрытия колонн. Существует большое количество типов механических перфораторов: сверлящие, прокалывающие, гидромеханические, пластические и т.д. На рис. 1 [2, 3, 4, 5, 6] приведена классификация выпускаемых перфораторов для проведения вторичного вскрытия пластов.

Основные параметры и характеристики перфораторов, определяющие выбор определенной модифи-

кации, приведены на рис. 2.

Для создания притока нефти в обсадной колонне и окружающем её цементном кольце против нефтеносного пласта создают ряд отверстий, обеспечивающих сообщение между пластом и скважиной [7, с. 32].

Применяемая в настоящее время кумулятивная перфорация не обеспечивает совершенной гидродинамической связи продуктивного пласта со скважиной. Это связано и с высокими ударными нагрузками, температурой, неэффективностью срабатывания зарядов, что приводит к разрушению крепления скважины, её преждевременному обводнению.

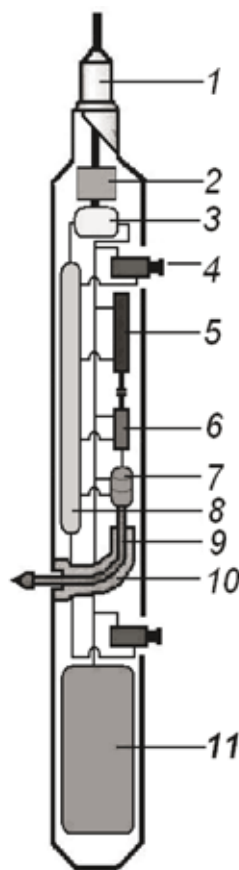


Рис. 3. Сверлящий перфоратор для вторичного вскрытия нефте- и газоносных пластов:

- 1 – головка; 2 – электродвигатель; 3 – насос; 4 – гидроцилиндры фиксации; 5 – гидроцилиндр подачи бура;  
6 – гидроцилиндр перфорации; 7 – гидромотор; 8 – бак; 9 – бур на гибком валу;  
10 – криволинейная направляющая; 11 – гидроаккумулятор

Наиболее продуктивно использование сверлящей перфорации. При таком вскрытии продуктивный пласт остается закрытым цементным кольцом (за исключением точки вскрытия), а углубления в пласт для преодоления закольматированной зоны практически нет [8].

Широкое применение сверлящей перфорации при проведении вторичного вскрытия пластов сдерживается в настоящее время отсутствием комплексных теоретических и экспериментальных исследований в этой области. Недостаточный уровень проработки конструктивно-компоновочных схем обуславливает низкую производительность и высокую аварийность работ. Жесткие требования, предъявляемые к габаритным показателям скважинных перфораторов, обуславливают необходимость использования серийного и оригинального гидрооборудования высокой компактности.

Недостаточный уровень проработки инженерных методик моделирования параметров и характеристик средств перфорации обсаженных скважин также определяет актуальность и необходимость работ, посвященных проектированию сверлящих перфораторов.

Одним из наиболее перспективных вариантов решения проблем повышения качества и производительности работ, связанных с проведением перфорации в

обсаженных скважинах, представляется разработка многогоразового сверлящего перфоратора с электрогидравлической системой и логическим управлением. Необходимо провести аналитический обзор существующих схемных решений конструктивно-компоновочных схем, разработать соответствующие принципиальные схемы, математические модели и методики расчета статических и динамических характеристик.

Компоновочная схема сверлящего перфоратора приведена на рис. 3.

Аппаратура состоит из скважинного прибора и наземных блоков управления, размещаемых в каротажной станции или подъемнике. Электрогидравлическая система перфоратора обеспечивает высокие усилия фиксации сверлящего перфоратора в стволе скважины. Вращение бурового инструмента реализуется с помощью гидромотора, что, в совокупности с высокими усилиями фиксации перфоратора в скважине, обеспечивает независимость частоты вращения бура от нагрузки на нем и, как следствие, более высокую производительность работ и ресурс инструмента. В состав сверлящего гидроперфоратора входит гидроаккумулятор, который обеспечивает расфиксацию аппаратуры при отключении питания от наземного модуля, таким образом, снижается вероятность

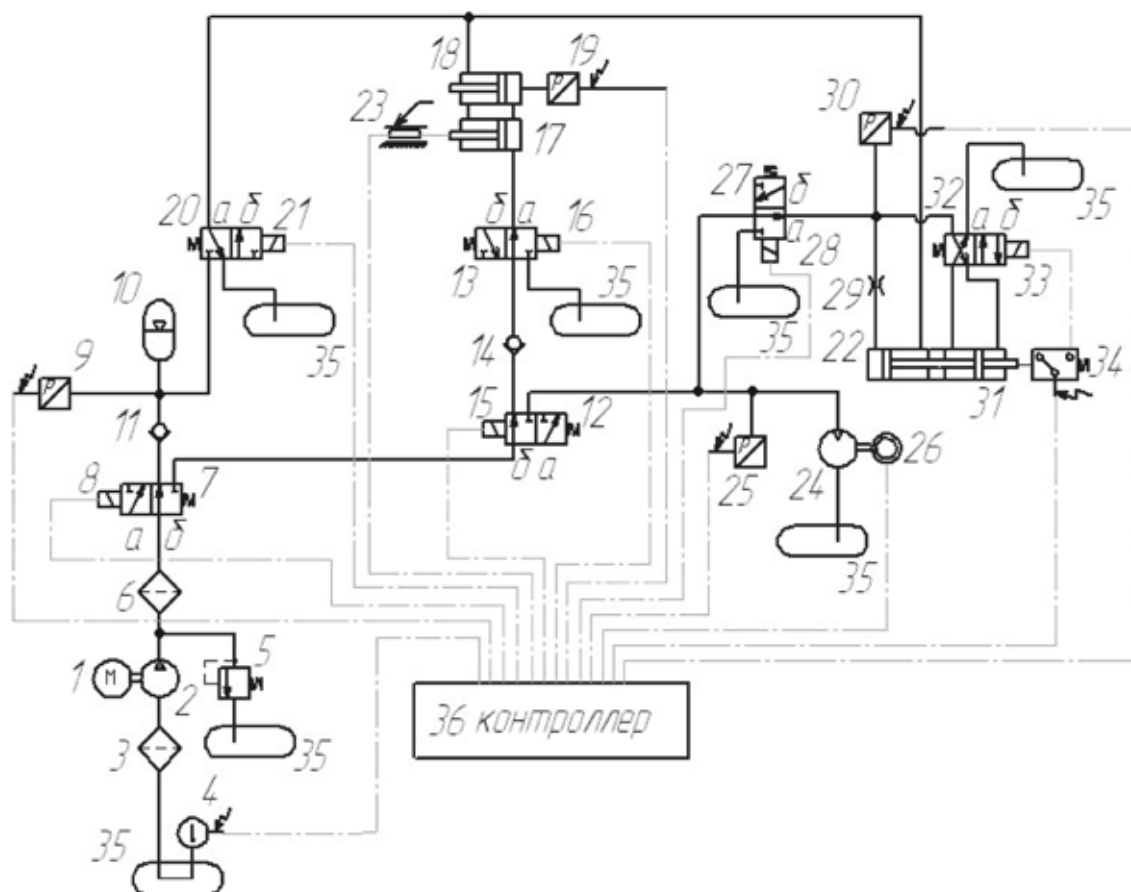


Рис. 4. Принципиальная гидравлическая схема сверлящего перфоратора:

1 – электродвигатель; 2 – насос; 3, 6 – фильтры; 4 – датчик температуры; 5 – предохранительный клапан; 7, 12, 13, 20, 27, 32 – гидрораспределители; 8, 15, 16, 21, 28, 33 – электромагниты; 9, 19, 25, 30 – датчики давления; 10 – гидроаккумулятор; 11, 14 – обратные клапаны; 17, 18, 22, 31 – гидроцилиндры фиксации (2), подачи бура и перфорации соответственно; 23 – датчик перемещения; 24 – гидромотор; 26 – датчик частоты вращения; 29 – дроссель; 34 – реле давления; 35 – бак, 36 – контроллер

возникновения аварийных ситуаций и работ, связанных с их последствиями, повышается производительность работы сверлящего перфоратора. Использование современной логической системы управления позволяет получать информацию о процессе перфорирования в режиме реального времени.

Особенностью конструктивного исполнения сверлящего перфоратора является модульность конструкции,

обеспечивающая быструю перенастройку оборудования для работы на скважинах различных размеров.

Принципиальная гидравлическая схема сверлящего перфоратора приведена на рис. 4.

В таблице 1 приведены основные технические характеристики разрабатываемого сверлящего перфоратора.

В результате, влияние масштабного фактора в сочетании с широким диапазоном изменения гидростатичес-

Таблица 1  
Основные технические характеристики разрабатываемого сверлящего перфоратора

Технические параметры	Значения технических параметров
Максимальное рабочее давление, МПа	20
Максимальная рабочая температура, °C	120
Максимальное число сверлений за спуск	20
Потребляемая мощность, кВА	0,4
Габаритные размеры скважинного прибора, мм:	
диаметр	120
длина	3500

кого давления и температуры определяет сложный и неоднозначный характер физических и гидродинамических процессов, протекающих в проточной части при функционировании сверлящего перфоратора. Для описания этих процессов разрабатывается математическая модель

сверлящего перфоратора. Уравнения математической модели позволят оптимизировать в процессе отладки модели ряд конструктивных и технических параметров элементов и систем перфоратора.

### Литература

1. Яруллин Р. К., Филиди Г. Н. Об эффективности вскрытия пласта перфорацией: НТВ Каротажник / Р. К. Яруллин, Г. Н. Филиди. — Тверь: АИС, 1998. — вып. 49.
2. Электрические машины ударного и ударно-вращательного действия [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://stroy-technics.ru/article/elektricheskie-mashiny-udarnogo-i-udarno-vrashchatelnogo-deistviya>.
3. ОАО НПП ВНИИГИС. Прямые методы каротажа скважин [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.vniigis.bashnet.ru/razr\\_pmks.shtml](http://www.vniigis.bashnet.ru/razr_pmks.shtml).
4. Гидромеханическая щелевая перфорация [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5511.html>.
5. Горная энциклопедия. Кумулятивный перфоратор [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/k/kumulyativnyj-perforator/>.
6. ОАО Азимут. Сверлящие перфораторы — безопасные технологии вторичного вскрытия пластов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.azimut-spe.ru/tehnology/perfor.htm>.
7. Сулейманов, А. Б., Карапетов, К. А., Яшин, А. С. Техника и технология капитального ремонта скважин / А. Б. Сулейманов, К. А. Карапетов, А. С. Яшин. — М.: Недра, 1987. — 320 с.
8. Информационно-измерительные системы в бурении. Новые способы вторичного вскрытия [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2006/ggeo/stadnyuk/library/art%2002.htm>.

## Разработка математической модели рабочего процесса двухкамерного устройства для газовой листовой штамповки

Мусаев А.А., аспирант

Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия

*Данная работа посвящена исследованию процесса горения в камерах. Целью исследований является определение степени повышения давления.*

Схема камер сгорания устройства для газовой листовой штамповки представлена на рис. 1. Устройство содержит две камеры сгорания 2 и 4, разделенные поршнем 3. Топливная смесь вначале поджигается в нижней (первой) камере 2. В процессе горения топливной смеси поршень 3 перемещается вверх и сжимает топливную смесь в верхней камере 4. Рассмотрим изменение параметров газа в обеих камерах в процессе горения топливной смеси в первой камере. Вследствие быстротечности процесса будем пренебрегать теплообменом с окружающей средой. Давление в верхней камере в рассматриваемый период времени сравнительно невелико, поэтому деформация штампуемой заготовки мала и ею можно пренебречь. Поэтому будем считать, что масса газа в верхней камере остается неизменной. Изменение давления в нижней камере зависит от изменения доли сгоревшего топлива во времени. После зажигания топливной смеси в течение некоторого времени очаг горения имеет относительно небольшой объем. По мере расширения зоны горения повышается скорость выделения тепла, соответс-

твенно этому увеличивается интенсивность повышения давления.

Таким образом, закон изменения давления в камере в первую очередь определяется законом выгорания топлива. Для условий поршневых двигателей внутреннего сгорания закон выгорания топлива предложен И. Вибе [1] в следующем виде:

$$\chi = 1 - e^{-c \left( \frac{t}{t_z} \right)^{m+1}}, \quad (1)$$

где  $\chi$  — доля сгоревшего топлива;  $t_z$  — время полного сгорания топлива;

$t$  — время;  $m$  — показатель характера сгорания;  $c$  — постоянная.

Для определения постоянной  $c$  необходимо задать величину  $\chi$  в конце сгорания. Если условно считать, что в конце сгорания, т.е. при  $t = t_z$ ,  $\chi = 0,999$ , то из зависимости (1) следует, что  $c = -6,906$ .

Тогда уравнение выгорания принимает следующий вид:



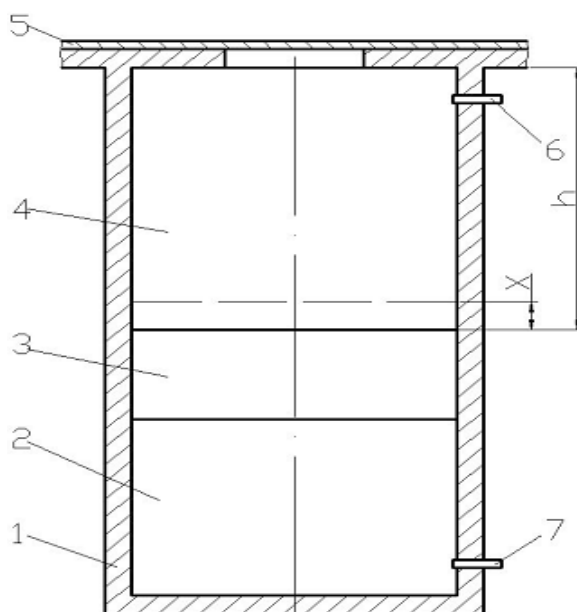


Рис. 1. Схема камер сгорания устройства для штамповки:

1 – корпус; 2, 4 – камеры сгорания; 3 – поршень; 5 – штампуемая заготовка; 6, 7 – свечи зажигания.

$$\chi = 1 - e^{-6,908 \left( \frac{t}{t_z} \right)^{m+1}} \quad (2)$$

Дифференцируя эту зависимость, найдем выражение для определения изменения доли сгоревшей топливной смеси в единицу времени

$$\frac{d\chi}{dt} = \frac{6,908}{t_z} (m+1) \left( \frac{t}{t_z} \right)^m e^{-6,908 \left( \frac{t}{t_z} \right)^{m+1}} \quad (3)$$

Используя это уравнение, можно определить количество тепла, выделяющегося в единицу времени

$$\frac{dq}{dt} = m_{\Gamma} Hu_m \frac{d\chi}{dt}, \quad (4)$$

где  $q$  – количество теплоты;  $m_{\Gamma}$  – начальная масса газа в камере сгорания;

$Hu_m$  – низшая теплота сгорания 1 кг горючего газа.

Используя эти уравнения, первый закон термодинамики получим следующие уравнения

Безразмерная величина  $P^*$  характеризует степень повышения давления.

$$\frac{dP_1^*}{d\tau} = \frac{\kappa-1}{1+\chi} \left( \frac{m_{\Gamma} Hu_m}{V_0 P_c} \frac{d\chi}{d\tau} - \frac{\kappa}{\kappa-1} \nu P_1^* \frac{dx}{d\tau} \right), \quad (5)$$

где  $V_0$  – начальный объем первой камеры;  $\nu$  – соотношение начальных объемов первой и второй камер;  $\chi$  – относительный (безразмерный) ход поршня;  $\kappa$  – показатель адиабаты;  $P_1^*$  – безразмерное давление газа в первой камере;  $m_{\Gamma}$  – масса газа.

Это уравнение определяет степень повышения давления в первой камере в процессе горения топливной смеси.

Приведем к безразмерному виду уравнение (3)

$$\frac{d\chi}{d\tau} = 6,908(m+1)\tau^m e^{-6,908\tau^{m+1}} \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) в совокупности описывают изменение давления в первой камере в процессе горения топливной смеси.

$$\frac{dw^*}{d\tau} = \frac{t_z^2 P_c}{hm_n} (P_1^* - P_2^*), \quad (7)$$

$$\frac{dx}{d\tau} = w^*, \quad (8)$$

где  $w$  – скорость поршня;  $m_n$  – масса поршня;  $P_2^*$  – безразмерное давление топливной смеси во второй камере.

$$P_2^* = \frac{a}{(1-x)^{\kappa}}, \quad (9)$$

где  $a$  – постоянный коэффициент

Система уравнений (5), (6), (7), (8), (9) описывают изменение давления в обеих камерах в период горения топливной смеси в первой камере. Эти уравнения имеют безразмерный вид.

Анализ и решение системы уравнений показали, что давление в первой камере в процессе горения топливной смеси повышается в 5..6 раз, при этом давление топливной смеси во второй камере повышается в 6..7 раз.

Горение во второй камере устройства для штамповки начинается после подачи искры свечи зажигания



$$P_1 = P_{1_0} \left( \frac{1}{1 + \alpha x} \right)^{\frac{1}{\kappa}}, \quad (16)$$

где  $\kappa$  — показатель адиабаты.

Система уравнений (10)–(12), (13)–(15), (16) в совокупности описывает закон изменения давления во второй камере в период горения в ней топливной смеси. Анализ и решение этих уравнений показал, что в результате сго-

рания топливной смеси давление в этой камере повышается в 3...4 раза в зависимости от параметров штампуемой детали. Учитывая, что в период горения топливной смеси в первой камере давление топливной смеси во второй камере повышается в 6...7 раз, можно заключить, что общая степень повышения давления во второй камере составляет 18...28. Это дает возможность штамповать стальные детали толщиной до 3 мм.

## Литература

1. Вибе И.И. Новое о рабочем цикле двигателей. — М.: Наука. 1962. — 365 с.

## Влияние электроискровой подгонки на распределение электрических полей в пленочном резисторе

Нагаев А.А., аспирант

Марийский государственный технический университет (г. Йошкар-Ола)

Современный уровень развития радиоэлектронной промышленности способствует широкому применению различного рода микросхем для разработки электронных устройств. Несмотря на тенденцию перехода от дискретной элементной базы в сторону интегральной, резисторы и элементы на их основе (различные резистивные датчики) продолжают составлять весомую долю на рынке радиоэлектронных компонентов. Так, на 2006 год объем пассивных компонентов в общем объеме мирового рынка составил 70%, а доля резисторов на рынке пассивных компонентов составила 15,7% [1]. Кроме того, резисторы нашли свое применение в интегрированном исполнении в составе резистивных сборок, гибридных интегральных микросхем.

Одной из проблем производства резистивных элементов является точность изготовления. Толстопленочная технология изготовления способна обеспечить допустимое отклонение сопротивления резистора  $\pm 10-40\%$ , а тонкопленочная  $\pm 5-10\%$ . Требования к точности и функциональности радиоэлектронных устройств непрерывно возрастают, наряду с этим повышаются требования к точности пассивных компонентов. Таким образом, возникает необходимость в высокоточных резисторах с допустимым отклонением порядка  $1-0,01\%$ . Для обеспечения требуемой точности сопротивления прибегают к различным способам корректировки сопротивления. В технической литературе операция корректировки сопротивления обозначается термином «подгонка».

Существует множество различных способов подгонки, если классифицировать их по принципу воздействия на сопротивление резистора, то получим 4 группы способов:

- 1) конструктивные;
- 2) основанные на изменении электрофизических свойств;

- 3) основанные на изменении геометрических размеров;
- 4) технологические.

Конструктивные способы подгонки заключаются в том, что на стадии разработки предусматриваются дополнительные конструктивные элементы резистора. После изготовления, подгонка сводится к добавлению или шунтированию подгоночных секций к основной секции резистора.

Способы, основанные на изменении электрофизических свойств, используют, как правило, тепловую энергию различных воздействий: лучей лазера, электронного пучка; импульсов тока пропускаемых через резистор; электроискрового воздействия и т. д.

Изменение геометрических размеров применяется для подгонки резисторов в сторону увеличения сопротивления и заключается в уменьшении толщины пленки по всей площади или выборке участка резистивной пленки с помощью различных воздействий, таких как: механических; распыление материала потоком частиц или локальным нагревом (лучом лазера, электроискрового дугового разряда и т.д.); химическим травлением.

Зачастую изменение геометрических размеров резистора сопровождается изменением электрофизических свойств резистивной пленки и наоборот. Так, например, при лазерной подгонке резистора с удалением материала, возникает тепло-пораженная зона по периметру лазерного реза. Материал в этой зоне имеет микротрещины из-за нагрева энергией лазера, и структура материала становится аморфной и хаотичной. У материала будет наблюдаться изменение электрических характеристик, которые зависят от многих факторов: параметров лазерного луча, распределения тепла, от вида пленки, подложки и обработки поверхности материала [2]. Таким образом, многие способы подгонки оказывают комплексное воздействие на резистивную пленку.

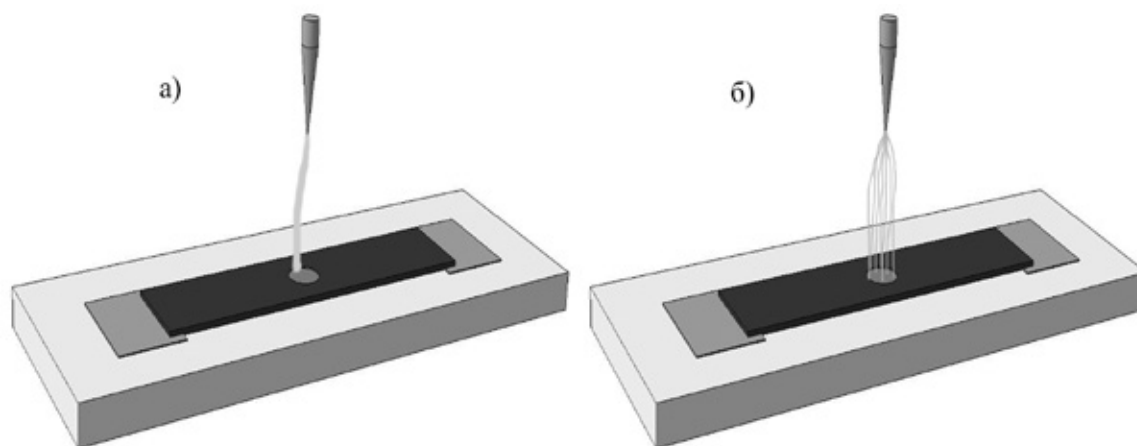


Рис. 1. Электроискровой разряд а) дуговой и б) дискретного вида

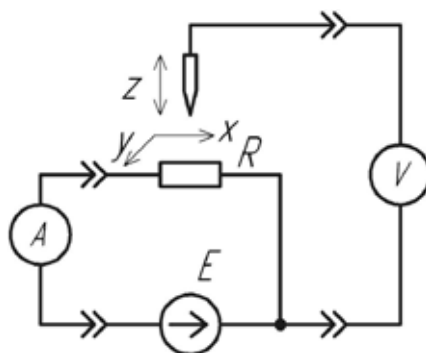


Рис. 2. Структурная схема системы измерения потенциала:

A – амперметр; E – источник стабилизированного напряжения; R – пленочный резистор; V – цифровой вольтметр

Технологические способы подгонки опираются на изменение режимов изготовления пленочных резисторов (например, использование повторного вжигания толсто-пленочных резисторов) и нанесение дополнительных слоев.

Способы подгонки характеризуются множеством параметров, основными являются точность подгонки, производительность подгонки, величина послеподгоночного дрейфа сопротивления, влияние на температурный коэффициент сопротивления (ТКС) и т. д.

Принцип электроискровой подгонки (ЭИП) заключается в создании разности потенциалов между резистивной пленкой и разрядным электродом, расположенным над ней, достаточной для пробоя воздушного зазора (0,5–2,5 мм, в зависимости от режима подгонки). В зависимости от частоты высоковольтных импульсов  $f$  возникает дуговой разряд ( $f = 10 - 20$  кГц) или разряд дискретного вида ( $f = 0,05 - 3$  кГц) [3]. Виды разрядов приведены на рис. 1. Дуговой разряд применяется для подгонки резистора в сторону увеличения сопротивления и может протекать с нарушением или без нарушения целостности пленки. Применение разряда дискретной формы позволяет осуществлять подгонку резистора в сторону уменьшения сопротивления в среднем на 10–15 % на начальном этапе подгонки, при дальнейшей подгонке изменение сопро-

тивления приобретет положительную направленность. Разряд дискретной формы протекает без разрушения резистивной пленки.

Скорость и точность ЭИП управляются с помощью варьирования параметров электроискрового разряда: амплитуды и длительности разрядных импульсов, частоты их следования, длительности пачки импульсов, величины разрядного тока. Применение внешних условий протекания разряда так же способно привести к изменению динамики подгонки, например, использование диэлектрической маски с отверстием требуемого размера для локализации области подгонки на резисторе и защиты соседних элементов от повреждения электроискровым разрядом способно уменьшить скорость подгонки и как следствие повысить ее точность [4].

ЭИП может быть включена как во вторую группу способов, так и в третью, потому что она способна оказывать воздействие на электрофизические свойства и геометрические размеры резистивной пленки. Помимо высокотемпературного воздействия на резистивную пленку в области эрозии, при прохождении электроискрового разряда через резистивную пленку протекает разрядный ток, что в свою очередь может вызвать структурные преобразования в пленке подобно электроимпульсной подгонке.

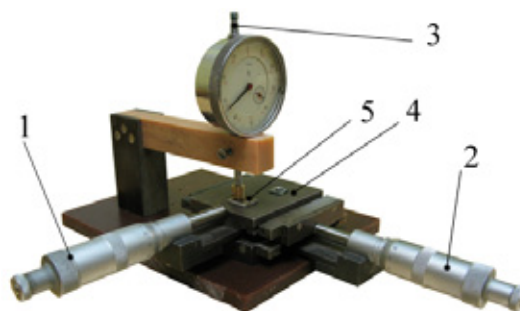


Рис. 3. Устройство для сканирования резистивной пленки:

1,2 – микрометрические винты; 3 – направляющая для вертикального перемещения щупа; 4 – координатный столик; 5 – сканируемый образец.

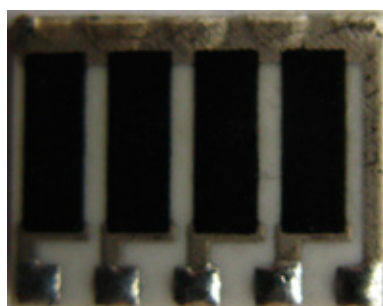


Рис. 4. Внешний вид подложки резисторного блока Б19М-2

Таким образом, возникает необходимость оценки состояния резистивной пленки после ЭИП, для определения вклада различных процессов, приводящих к изменению сопротивления.

Для оценки воздействия ЭИП на резистивную пленку, было измерено распределение электрического потенциала по поверхности прямоугольного резистивного элемента до и после подгонки. Схема измерения распределения потенциала приведена на рис. 2.

Соединение с контактными площадками резистора осуществлялось пайкой. К контактными площадкам резистора прикладывалось стабилизированное напряжение  $1 \pm 0,0001$  В. Величина напряжения выбрана, исходя из соображения минимизации мощности, выделяемой на резисторе, чтобы избежать его нагрева и исключить влияние температурного коэффициента сопротивления, а также из соображений удобства и наглядности представления результатов. Ток, протекающий через резистор, измерялся с помощью амперметра *А*, в качестве которого применялся универсальный цифровой вольтметр В7–35. Измерение напряжения в точках на поверхности резистора, осуществлялось с помощью вольтметра *В*. При измерении потенциала в точках на поверхности резистивной пленки использовался универсальный цифровой вольтметр В7–40. Внутреннее сопротивление, данного вольтметра  $10 \pm 0,1$  МОм, таким образом, при сканировании пленочных резисторов сопротивлением до 100 кОм влиянием вольтметра на распределение потенциала при измерении

можно пренебречь. Перемещение пленочного резистора вдоль осей, условно показанных на схеме, осуществлялось координатным столиком *4* (рис. 3), расположенным на одном основании со штативом, на котором крепится система вертикального перемещения измерительного щупа *3*. Подложка с пленочным резистором *5* фиксируется на поверхности координатного столика, перемещение которого осуществляется вращением микрометрических винтов *1, 2*. Минимальный шаг координатного стола по осям  $Ox, Oy$  — 10 мкм. В качестве измерительного щупа, использовалась стальная игла. Усилие прижатия щупа к поверхности пленки оставалось неизменным в процессе сканирования, таким образом, считаем, что контактное сопротивление также оставалось неизменным и не влияло на результаты измерений.

В качестве объекта исследования использованы отбракованные подложки резисторных блоков Б19М – 2 номинальным сопротивлением 10 кОм (рис. 4). Технология изготовления резисторного блока — толстопленочная, резистивный элемент изготовлен из пасты на основе оксида рутения. Для подгонки резисторов использовался автоматизированный комплекс для изучения ЭИП резисторов «Искра-10А»; омметр типа ЩЗ4; контактное приспособление для ЭИП.

Для представления результатов сканирования построены графики эквипотенциальных линий в прямоугольной системе координат (рис. 5), где по оси абсцисс отложена длина  $l$ , а по оси ординат ширина резистивной



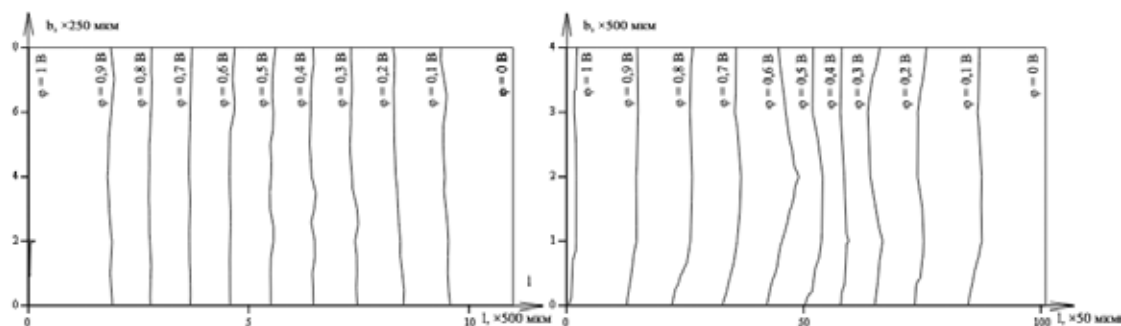


Рис. 5. График распределения потенциала в прямоугольном пленочном резисторе до подгонки (слева) и после ЭИП в сторону увеличения сопротивления (справа)

пленки  $b$ . Левый график содержит распределение потенциала в резистивной пленке прямоугольного резистора до подгонки. Эквипотенциальные линии, построенные на нем, параллельны оси ординат и отстоят друг от друга на практически одинаковое расстояние. Таким образом, можно заключить, что резистор подвергнутый сканированию не содержит существенных дефектов в структуре пленки, несущественное отклонение эквипотенциальных линий, может являться результатом незначительных дефектов в пленочной структуре, возникших в процессе изготовления, погрешностью позиционирования измерительного щупа, загрязнением поверхности пленки.

Распределение потенциала по резистивной пленке после подгонки приведено справа на рис. 5. Подгонка осуществлялась в режиме сканирования, то есть в режиме целью которого является определение кинетики подгонки при различных параметрах электроискрового разряда, а не достижение требуемого значения сопротивления. Подгонка осуществлялась по центру резистивного элемента, параметры подгонки: частота — 3 кГц; длительность импульсов — 100 мкс; амплитуда импульсов — 4 кВ; коли-

чество импульсов в пачке — 25. Начальное сопротивление резистора  $R_0 = 9,7159$  кОм, сопротивление после подгонки  $R_x = 11,1744$  кОм, относительное изменение сопротивления  $\delta = 15,01$  %. По графику распределения потенциала по поверхности пленки видно, что эквипотенциальные линии искривлены с прогибом в направлении центральной части резистора, таким образом, токовые линии смещены к краям формы резистора. По смещению токовых линий к краям резистора делаем вывод, что проводимость пленки в зоне эрозии уменьшается, но не исчезает полностью, в отличие от лазерной подгонки. Изменение сопротивления резистора главным образом происходит из-за процессов, протекающих в зоне эрозии, на их фоне незаметен вклад вносимый изменениями, вносимыми другими процессами.

Таким образом, можно сделать вывод, что для моделирования воздействия ЭИП нельзя полностью использовать принцип моделирования лазерной подгонки, так как пленка подверженная электроискровому воздействию без разрушения пленки не теряет свойств электропроводности.

### Литература

1. Мышаев А. Отечественные постоянные непроволочные и СВЧ-резисторы: состояние и перспективы производства / А. Мышаев, Н. Пратусевич, Ю. Санкин, В. Уткин // Электронные компоненты. — 2007. — №3. — С. 138–140.
2. Schimmanz, K., Jacobsen, S.M.: Resistance post-trim drift index for film resistors to be trimmed // Preprint BTU — Cottbus M-01/02, Germany, 2002.
3. Леухин В.Н. Техника и технология электроискровой обработки элементов и узлов РЭА // Тр. науч. конф. по итогам н.-и. работ Мар. гос. техн. ун-та. — Йошкар-Ола, 23 — 25 марта 2001. Секц.3 Радиофизика, техника, локация и связь. / Мар. гос. техн. ун-т. — Йошкар-Ола, 2001. — С. 97 — 109.
4. Нагаев А.А. Влияние диэлектрической маски на корректировку величины сопротивления толстопленочных резисторов методом электроискровой подгонки / А.А. Нагаев, В.Н. Леухин // Вестник МарГТУ. Серия «Радиотехнические и информационные системы.» — 2008 — №2 — С. 63 — 67.

## DFD-моделирование потоков регионального промышленного кластера

Нигмедзянова Е.С., аспирант

Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева

Количество информации и проблемы, возникающие при ее сборе, обработке и анализе заметно увеличиваются с ростом размеров организации. Региональный промышленный кластер, включающий в себя широкую сеть поставщиков, производителей, потребителей, элементов промышленной инфраструктуры, исследовательских институтов и образовательных учреждений, взаимосвязанных в процессе создания добавочной стоимости содержит множественный поток неструктурированной экономической информации. При этом информационный обмен участников кластера, создание информационного обеспечения всех его процессов, является важным механизмом обеспечения эффективного взаимодействия всех участников кластера в процессе достижения его экономических целей.

Рассматривая процесс выпуска продукции региональным промышленным кластером на основе процессного подхода и учитывая формулировки стандарта ISO 9000:2000 [1], мы определяем следующие основные процессы:

- процесс производства конечного продукта (основной процесс);
- процесс поставки (обеспечения) ресурсов для процесса производства (процесс первого уровня);
- процесс сбыта конечного продукта процесса производства (процесс первого уровня);
- наука и образование процесса производства — процесс создания наукоемких технологий производства и подготовки высококвалифицированных профессионально направленных кадров (процесс первого уровня);
- процессы управления на каждом из процессов с выделением «владельца» процесса — ответственного лица (процесс второго уровня);
- процессы измерения, анализа и улучшения каждого из процессов высших уровней регионального промышленного кластера (процесс второго уровня).

Категориально, все процессы регионального промышленного кластера делятся на «основные» и «вспомогательные». К основным процессам регионального промышленного кластера отнесем те, через выходы которых проходит производимый кластером конечный продукт или его компоненты, вспомогательные процессы включают в себя параметры функционирования основных процессов (управление, мониторинг, документирование и т.д.). Владелец процесса, имеющему все необходимые ресурсы и полномочия для совершения процесса, должны быть выделены и установлены показатели эффективности процесса (в том числе экономические), адекватно отражающие его динамику. Кроме того, все отклонения от нормального течения процесса, выявляемые в ходе мониторинга, должны фиксироваться и рассматриваться как

база для совершенствования с учетом экономической целесообразности корректировки процесса.

В рассматриваемом нами аспекте инфологического моделирования основными параметрами исследуемых процессов являются все виды потоков, обеспечивающих функционирование процессов, необходимые для этого информационные ресурсы и их динамичное изменение. Опишем материальные и информационные потоки регионального промышленного кластера посредством DFD (Data Flow Diagramming) модели [2].

Целью приводимой методологии DFD — моделирования является преобразование общих знаний и требований к потокам данных регионального промышленного кластера в по-возможности точные определения за счет интеграции потоков данных, хранилищ и процессов в единую систему обмена информации. Традиционно, DFD-диаграммы являются также средством построения системы документооборота для более наглядного отображения текущих операций, а функциональная декомпозиция системы описывается посредством IDEF моделей, позволяющих описать структуру, параметры и характеристики производственно-технических и организационно-экономических систем. Однако, на наш взгляд, жестко регламентированная методология IDEF моделей не достаточно четко может отразить особенности динамичного функционирования регионального промышленного кластера. В пользу использования DFD-нотации, говорит также и то, что изначально, IDEF создавались как средство проектирования систем в целом, а DFD-диаграммы для проектирования программных автоматизированных систем, потому они имеют специфику набора элементов (так например, хранилища данных есть прообраз базы данных, внешние сущности — входные параметры и т.д.), что обуславливает легкость переноса проектируемой модели на программно-аппаратную платформу. Также в имеются ссылки на некоторую логическую незавершенность IDEF, а именно обрыв модели на некотором достаточно низком уровне при невозможности детализации, а наличие мини-спецификаций DFD-процессов нижнего уровня (вплоть до каждого процесса каждого исполнителя) позволяет построить полную функциональную спецификацию разрабатываемой системы. Кроме того, в настоящее время существуют специфические CASE-инструменты, позволяющие преобразовать иерархию DFD в структурные карты, демонстрирующие межсистемные и внутрисистемные связи, что является основой проектирования информационной системы.

Моделируемый объект рассматривается как некоторое произвольное подмножество, где количество и тип процессов выделяется согласно аспекту построения модели и определенным границам моделируемой системы. Диа-

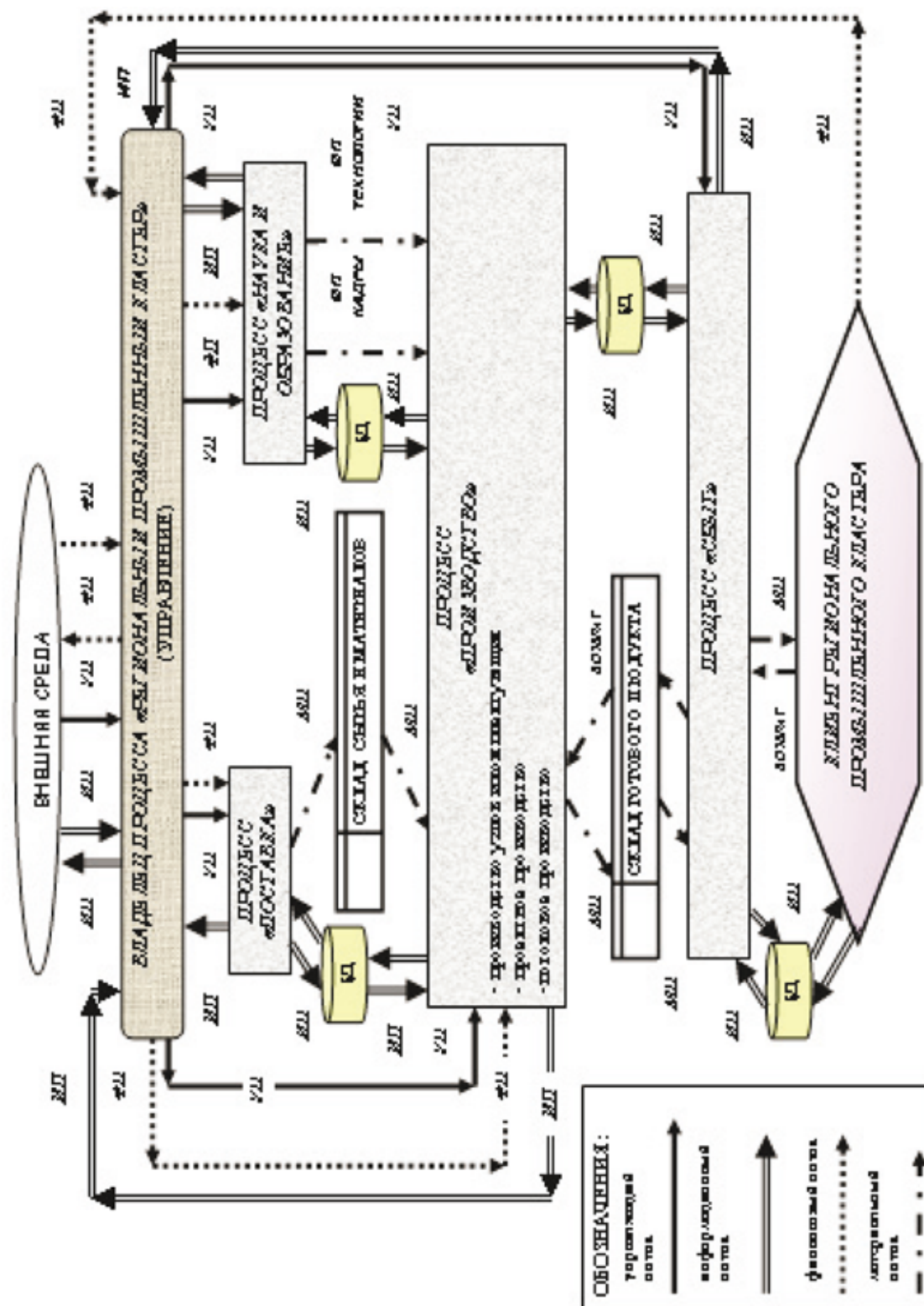


Рис. 1. DFD-диаграмма потоков регионального промышленного кластера

граммы потоков данных (DFD) являются средством моделирования необходимых функциональных компонент ранее выделенных процессов регионального промышленного кластера и изображаются в виде сети потоков данных, демонстрирующих, как каждый процесс преобразует свои входные данные в выходные, а также выявляют отношения между процессами [3]. Согласно описанию [4]

основными компонентами диаграммы потоков данных являются внешние сущности, системы или процессы, хранилища данных, потоки данных. Источники информации, как внешние сущности, порождают и переносят информационные потоки между процессами регионального промышленного кластера. В свою очередь, процессы преобразуют или создают новые потоки данных и отправляют

их к хранилищу данных или к внешним сущностям — клиентам процессов.

Для рассматриваемого в данной работе аспекта моделирования необходимо выделить и оценить управляющие и материальные потоки функционирования регионального промышленного кластера. Представление потоков в виде стрелок совместно с хранилищами данных и внешними сущностями делает модели DFD более похожими на физические характеристики системы — движение объектов, хранение объектов, поставка и распространение объектов (рис. 1).

Интегративный процесс функционирования регионального промышленного кластера предполагает поиск способов координации мониторинга и оценки потоков с учетом специфики производства.

Замкнутый цикл функционирования кластера через цепочку параллельных и последовательных процессов предполагает исходным — процесс «сбыт», где начальная точка — подготовка информации о заказчиках и перспективах сбыта продукции, оценка перспективных рынков с учетом технологического потенциала регионального промышленного кластера. Затем посредством процесса «наука и образование» происходит выбор технологии производства готового продукта при соблюдении международных стандартов, при необходимости НИОКР разрабатываются новые технологии производства, также этим процессом осуществляется подбор специалистов-профессионалов для осуществления выхода готового продукта.

Параллельно с описанным процессом функционирует и процесс «поставка», осуществляя выбор и работу с поставщиками, реализуя планы по закупке сырья и материалов, оперативности снабжения и обеспечения наличия необходимых ресурсов для запуска сырья в производство.

Функционирование процесса производства является зависимым от результатов предыдущих процессов и осуществляется в зависимости от типа производства — потокового, проектного, вспомогательного (производство узлов и комплектующих), итог процесса «производство» готовый продукт, поступающий на склад. Процесс сбыт является также и конечным в цепочке процессов, завершающим процессом движения всех внутрикластерных потоков, конечная его цель — предоставление готового продукта клиенту регионального промышленного кластера и послепродажное обслуживание заказчиков. Также к его функциям относится маркетинговая деятельность промышленного кластера, результаты которой обеспечивают будущую деятельность и эффективность работы, как кластера, так и региона в целом.

Разработанная на основе нотации DFD диаграмма потоков регионального промышленного кластера демонстрирует как объекты потоков перемещаются между основными процессами регионального промышленного кластера, обеспечивая оптимальный способ описания и создавая основу организации автоматизированного информационного обмена между процессами и построения информационного обеспечения регионального промышленного кластера.

### Литература

1. ISO 9000:2005. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь
2. Калянов Г.Н., Козлинский А.В., Лебедев В.Н. Сравнительный анализ структурных методологий. //СУБД 1997, N 5-6, с. 75-78.
3. Верников Г. Основные методологии обследования организаций // Сайт компании Верников и партнеры — [www.vrg.ru](http://www.vrg.ru).
4. Ковалев С.М., Ковалев В.М. Бизнес-процессы, основные стандарты их описания. «Справочник экономиста» №11 2006

## Исследование возможности расширения марочного сортамента легкообрабатываемых сталей

Никитин М.С., ассистент; Рябов А.В., кандидат технических наук, доцент  
Южно-Уральский государственный университет (г. Златоуст)

Последние тенденции в области экологии металлургической отрасли легли в основу критериев поиска альтернативы традиционным компонентам, улучшающим обрабатываемость стали резанием. Однако изготавливаемые на данный момент автоматные стали имеют и ряд других существенных недостатков [1], которые, с одной стороны, неизбежно приводят к усложнению технологии сталеплавления, и

данный вопрос, безусловно, требует продуманного решения, а с другой стороны, обозначенный круг проблем обусловлен прежде всего физико-химическими свойствами самих легирующих добавок, повышающих уровень обрабатываемости, что препятствует устранению причин возникновения негативных явлений и ограничивает ряд предпринимаемых мер лишь попытками нивелировать их последствия.



В течение многих лет при выборе материала для операций металлообработки предпочтение отдается свинцовистым сталям и их заменителям с висмутом, селеном и теллуром вследствие их повышенного уровня обрабатываемости. Ограничение применения токсичных элементов для улучшения обрабатываемости металла является серьезной проблемой для всех областей техники. Например, в металлургии и машиностроении главным вопросом остается улучшение обрабатываемости сталей без реализации их легирования упомянутыми компонентами, ведь обрабатываемость резанием является одной из основных технологических характеристик, определяющей темпы наращивания производства машиностроительных предприятий в целом.

По мнению авторов, наиболее приемлемым и в то же время эффективным способом решения проблем, возникающих при выплавке легкообрабатываемых сталей, который позволяет избежать дорогостоящих операций термической обработки и кардинальных преобразований в отработанной технологии производства, является применение альтернативных легирующих элементов. На основании проведенного анализа термодинамических свойств химических элементов и оценки усложнения технологии металлургического передела в связи с их применением был сделан вывод о том, одним из таких потенциальных заменителей может стать олово.

В связи с этим в настоящей работе проводится оценка потенциала легирования стали оловом для улучшения ее обрабатываемости резанием. В ходе данных исследований планируется изучить поведение предлагаемого компонента в ходе выплавки стали и провести сравнительную аналогию с традиционными легирующими элементами, улучшающими обрабатываемость. В частности, будет рассмотрено усвоение и распределение олова по высоте слитка, а также его влияние на санитарно-гигиенические условия труда производственного персонала.

В настоящее время в машиностроительном производстве широкое применение нашли конструкционные легированные стали, для которых характерно возникновение ряда некоторых сложностей в процессе механической обработки. Поэтому в качестве объекта для исследований выбрана марка 30X, являющаяся характерным представителем этого класса. Для того чтобы избежать усложнения технологии выплавки стали олово использовали в чистом виде. С целью уменьшения влияния сопутствующих примесей на результаты эксперимента для легирования применяли металл квалификации «ЧДА» согласно ТУ 6–09–2704–88.

Выплавка стали производилась в лабораторной индукционной печи. В качестве плавильной емкости использовались высокоплотные корундовые тигли с добавкой двуокиси титана. В силу того, что рабочее пространство печи имело специфические геометрические размеры, к исходным материалам предъявлялись строгие требования по фракционному составу. Размер кусков подбирался таким образом, чтобы получить оптимальную насыпную плотность

в периферийной зоне и тем самым избежать образования настывки металла на стенках тигля в ходе оплавления верхних слоев шихты. В противном случае сформировавшийся адсорбированный слой будет препятствовать нормальному ходу ведения процесса, негативно влияя на его электрический режим и в конечном счете может спровоцировать значительные потери мощности на ванне, что приведет к свариванию шихты вместо ее расплавления.

Для того чтобы снизить вероятность растрескивания тиглей в результате перепада температур, исключить непредвиденные потери металла и увеличить скорость его расплавления применялся их предварительный подогрев с навесками шихты в печи сопротивления. С целью максимального уменьшения риска образования трещин и более равномерного прогрева исходных материалов использовали ступенчатый нагрев с выдержкой при двух основных пороговых температурах. Затем тигель с содержимым помещали в индукционную печь, после чего производили присадку олова и начинали процесс расплавления. В дальнейшем выплавленные слитки подвергали высокотемпературной деформации, которая заключалась в ковке металла с последующим охлаждением на воздухе. Процесс проводили минимум в два этапа, добиваясь получения круглого профиля заготовки, чтобы облегчить последующее изготовление образцов для проведения исследований.

После завершения всех технологических операций с целью определения усвоения предлагаемого легирующего элемента проведен химический анализ стали. Для того чтобы оценить равномерность распределения олова по объему металла, с каждой заготовки были отобраны три пробы, соответствующие различным по высоте участкам: верхней, средней и нижней частям слитка. Номинальный химический состав полученных образцов по высоте слитка представлен в таблице 1.

Результаты проведенного химического анализа проб подтвердили сделанное ранее предположение о том, что олово, обладая оптимальной с точки зрения процесса легирования стали плотностью, практически равномерно распределяется по всему объему металла. Кроме того, на основании полученных данных для трех выплавленных образцов сделан вывод о том, что степень усвоения олова металлическим расплавом может достигать 99%. Объяснением последнего явления служит тот факт, что в процессе выплавки стали олово не окисляется, не испаряется автономно и не образует летучих соединений. С одной стороны, это частично связано с тем, что по своему химическому сродству к кислороду данный металл относится к группе химических элементов, обладающих сродством к кислороду меньшим, чем железо, и вследствие этого почти полностью остающихся в стали в растворенном состоянии [2]. С другой стороны, олово обладает высокой температурой кипения, значительно превышающей рабочие температуры сталеплавильных процессов, и имеет низкую упругость пара, что препятствует его свободному испарению с поверхности расплава.



Таблица 1

## Химический состав стали

Обозначение пробы	Химический состав, масс. %									
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Sn
1А	0,29	0,57	0,31	0,031	0,025	0,22	1,02	0,18	0,21	0,05
1Б	0,29	0,57	0,31	0,030	0,024	0,22	1,02	0,18	0,21	0,05
1У	0,29	0,57	0,31	0,030	0,024	0,22	1,02	0,18	0,21	0,05
2А	0,30	0,55	0,35	0,031	0,025	0,23	0,99	0,17	0,22	0,10
2Б	0,30	0,55	0,35	0,030	0,024	0,23	0,99	0,17	0,22	0,10
2У	0,30	0,55	0,35	0,030	0,024	0,23	0,99	0,17	0,22	0,10
3А	0,30	0,63	0,34	0,033	0,025	0,21	1,03	0,19	0,20	0,15
3Б	0,30	0,63	0,34	0,032	0,024	0,21	1,03	0,19	0,20	0,16
3У	0,30	0,63	0,34	0,032	0,024	0,21	1,03	0,19	0,20	0,15

Примечание: А, Б, У — отображение места отбора пробы: верхняя, средняя и нижняя части слитка соответственно

В то же время параллельно с операциями химического анализа проводилось изучение микроструктуры стали. С этой целью из каждой отобранной по высоте пробы были изготовлены шлифы, которые отправляли на электронно-зондовый анализ. Исследования проводились на базе системы «Inca» компании «Oxford Instruments». Для изучения структуры металла применялся электронный микроскоп с автоматизированным управлением зондом и функцией анализа с привязкой к изображению. Один из типичных снимков структуры металла показаны на рисунке 1.

В теле крупных комплексных соединений, имеющих округлую форму, хорошо различимы участки небольших размеров, выделяющиеся на фоне окружающего изображения своим цветовым тоном. По итогам спектрального анализа выявлено, что эти обнаруженные частицы, входящие в состав других неметаллических включений, которые в данном случае представлены сульфидами и окси-сульфидами, в свою очередь являются сочетанием третьих, еще более различающихся по своим свойствам компонентов — оксидов хрома и мелкодисперсных включений

олова размером с десятые доли микрометра. Важнейшей особенностью химических свойств частиц металлов таких малых размеров является их высокая реакционная способность, обусловленная повышенной склонностью к атомному обмену, адсорбции на различных поверхностях и к образованию поверхностных связей с другими адсорбирующимися частицами. Они имеют высокую реакционную способность и легко вступают в реакции с различными соединениями. По всей вероятности, это и обуславливает осаждение олова совместно с некоторыми оксидами на подложке из сульфидов.

В автоматных сталях, легированных свинцом, висмутом и их сочетаниями с серой, слабдеформированные сульфиды выступают в роли подложки для осаждения на них частиц отмеченных металлов. При этом подчеркивается, что такие комплексные включения являются наиболее благоприятными для процесса механической обработки [3]. По итогам завершающей фазы исследований удалось выяснить, что при определенных обстоятельствах могут создаваться условия и для осаждения олова на по-

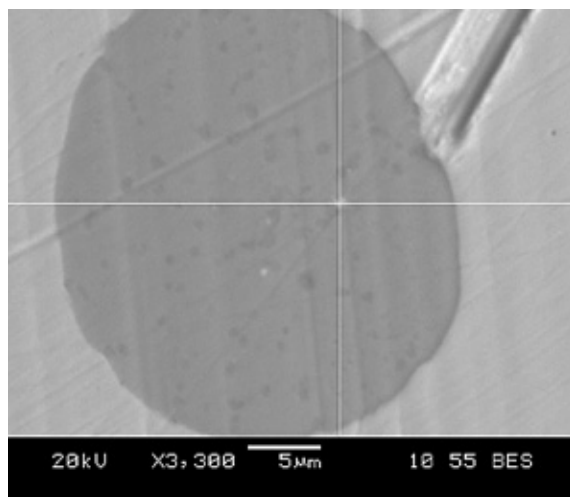


Рис. 1. Мелкодисперсные частицы олова в стали 30Х

добных подложках. Следственно, можно ожидать, что в этом случае уровень обрабатываемости металла резанием будет выше, чем при наличии в структуре стали отдельных дисперсных частиц олова.

Стоит также отметить, что сульфиды в присутствии альтернативного легирующего элемента по-прежнему сохраняют свою глобулярную форму. При увеличении содержания в металле таких включений ослабевает адгезионное взаимодействие между обрабатываемым материалом и режущим инструментом, в результате чего уменьшается интенсивность износа последнего и шероховатость поверхности конечной детали, а, следовательно, улучшается обрабатываемость стали [3].

Одним из важнейших преимуществ олова по отношению к традиционным легирующим элементам, повышающим показатели обрабатываемости резанием, является крайне малая токсичность данного металла. Значение предельно допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны и ориентировочно безопасного уровня воздействия для чистого олова на сегодняшний день не установлено. Таким образом, легирование легкообрабатываемых сталей оловом должно способствовать значительному

улучшению экологической обстановки металлургического производства за счет снижения агрессивности вредных выбросов в окружающую атмосферу ввиду полного исключения из состава стали высокотоксичных компонентов и соединений на их основе.

В силу ряда своих термодинамических свойств олово в процессе выплавки стали не подвергается окислению и не испаряется, а также не образует каких-либо летучих соединений, выделяющихся в атмосферу рабочей зоны, в результате чего его усвоение полиметаллическим расплавом может достигать достаточно высоких значений. К тому же данный химический элемент обладает плотностью близкой по значению к плотности жидкой стали и в итоге довольно равномерно распределяется по сечению слитка.

Таким образом, применение предложенного компонента позволит более рационально использовать материальные средства и в некоторых случаях уменьшить себестоимость стали за счет снижения расхода легирующих, так как при определении необходимого количества добавочных материалов заранее исходят из их повышенной против требуемой массы с учетом предполагаемых потерь окислением и испарением.

### Литература

1. Гольдштейн, Я.Е. Конструкционные стали повышенной обрабатываемости / Я.Е. Гольдштейн, А.Я. Заславский. — М.: Металлургия, 1977. — 248 с.
2. Кудрин, В.А. Внепечная обработка чугуна и стали / В.А. Кудрин. — М.: Металлургия, 1992. — 336 с.
3. Яшин, Ю.Д. Стали улучшенной обрабатываемости / Ю.Д. Яшин, С.А. Солдаткин, П.Ю. Чесноков // Металлург. — 2005. — № 6. — С. 59–62.

## Анализ процесса литья алюминия в кристаллизаторе с подвижным дном

Одинцов М.В., аспирант

Сибирский федеральный университет

**С**литки различных сечений (круглые, прямоугольные) отливаются методом полунепрерывного литья, сущность которого заключается в непрерывной подаче жидкого металла в специальную водоохлаждаемую изложницу (кристаллизатор) с подвижным дном, роль которой выполняет подвижный поддон, перемещающийся в вертикальном направлении (рис. 1).

Скорость опускания поддона подбирается так, чтобы слиток не застывал по всему сечению, а образовывалась бы поверхностная корочка. Дальнейшая кристаллизация слитка происходит при охлаждении его поверхности водой. Литье прекращается при достижении слитком заданной длины, и затем процесс повторяется вновь.

Литейные машины для полунепрерывного литья (МПЛ) слитков состоят из двух основных узлов: кристаллизатора и механизма перемещения поддона, который монтируется в колодце. Для вертикального полунепрерывного литья различают кристаллизаторы двух

типов — высокие и низкие. У высоких кристаллизаторов высота  $H$  в несколько раз больше диаметра  $D$  слитка, и охлаждение в них происходит через стенку — мягче, чем при резком охлаждении водой. Применяются такие кристаллизаторы для литья слитков из сплавов, склонных к трещинообразованию при быстром охлаждении водой. Высота же низких кристаллизаторов  $H$  не превышает  $1,5D$  и поэтому слитки в них охлаждаются не только через стенку, но и водой, подаваемой на слиток по выходе ее из кристаллизатора. Корпус кристаллизатора изготавливают из меди или твердого алюминиевого сплава.

Для литья слитков над кристаллизаторами устанавливается распределительная чаша с поплавокми; частично перекрывая патрубок, из которого подается жидкий металл, они регулируют его уровень в кристаллизаторе. Скорость литья тем больше, чем меньше сечение отливаемого слитка. Например, при литье слитков диаметром 125 мм скорость составляет 180 — 200 мм/

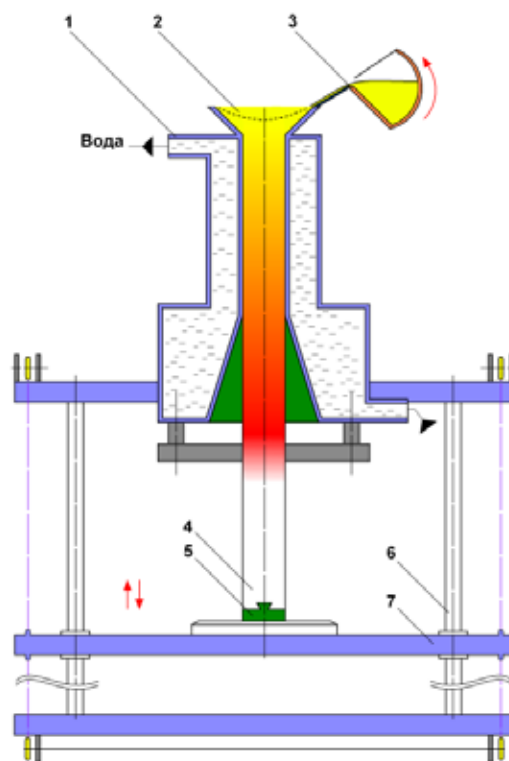


Рис. 1. Схема полунепрерывного литья:

1 – кристаллизатор; 2 – жидкий металл; 3 – ковш-дозатор расплава; 4 – слиток; 5 – поддон;  
6 – направляющая колонка; 7 – подвижный стол.

мин; при диаметре слитков 360 мм она снижается до 60–70 мм/мин [1].

При достижении слитком заданной длины прекращается подача металла, а затем и воды, убирается литейная чаша с поплавками и отодвигается в сторону стол с кристаллизаторами, а отлитые слитки извлекаются из колодца тельфером. Затем слитки подаются на линию отрезки концов, а при необходимости разрезаются на части. Длина отливаемого слитка лимитируется ходом поддона. Для литья слитков длиной до 3 м получили распространение машины с гидравлическим или винтовым приводом, а для слитков большой длины (до 8 м) широко применяются тросовые или цепные машины. Механизм перемещения стола оснащается двумя электродвигателями: один для рабочего хода, а второй для подъема слитков вверх со значительно большей скоростью, чем при литье, – до 8000 мм/мин. Скорость перемещения поддона регулируется механически (вариатором или сменными шкивами) и электрическим регулируемым приводом с двигателем постоянного тока.

Полунепрерывное литье слитков, обеспечивающее получение продукции высокого качества при низких затратах и высокой производительности, в настоящее время является основным способом разлива сплавов в производстве первичного и вторичного алюминия и их сплавов.

При производстве слитков на его поверхности могут образовываться различные дефекты: трещины, несли-

тины (частичное затвердевание открытой поверхности слитка), ликвационные наплывы (при завышенной скорости литья не успевает образовываться поверхностная твердая корочка и легкоплавкие составляющие выдавливаются на поверхность слитка). С увеличением размеров слитка указанные дефекты появляются чаще, что обуславливает необходимость механической обработки слитков перед их обработкой давлением (экструзия, прокатка). Поэтому практически постоянно ведется поиск мер, позволяющих отливать слитки высокого качества, не требующие механического воздействия. Для достижения этой цели используется литье круглых и плоских слитков в электромагнитный кристаллизатор (ЭМК), принцип работы которого заключается в том, что при подаче тока в кольцевой индуктор возникающее электромагнитное поле сжимает металл и препятствует его вытеканию из кристаллизатора. Высоту индуктора выбирают так, чтобы граница жидкой и твердой фаз на боковой поверхности слитка находилась примерно на уровне его середины, и практически она составляет 25 – 80 мм в зависимости от размеров слитка.

Практически ЭМК используется для литья круглых слитков диаметром от 260 мм и выше, а также плоских слитков толщиной 290 – 450 и шириной 1250 – 2080 мм и выше. Частота питающего индуктора тока может быть равна 50 Гц при литье круглых слитков, а при литье плоских на промышленной частоте возникает трудноустраняемая вибрация, и поэтому приходится прибегать к по-

вышенной частоте, что усложняет и удорожает стоимость литья [2].

Основное преимущество метода литья в ЭМК заключается в отсутствии физического контакта на любой стадии процесса между кристаллизатором и слитком, а также в подаче воды непосредственно на поверхность, что исключает образование ликвационных наплывов; а наличие столба жидкости над кристаллизующимся слитком предотвращает образование неслитин, а также исключает механическую обработку слитков и связанную с этим потерю металла. Кроме того, применение ЭМК позволяет повысить скорость литья на 10–30 %.

Анализ процессов кристаллизации показал, что дальнейшее повышение качества слитка можно достигнуть, подобрав оптимальную глубину границы твердой и жидкой фаз металла. Для этого необходимо использовать технологию ультразвукового зондирования, которую можно проиллюстрировать на работе ультразвукового толщиномера (УТ).

Принцип работы всех УТ заключается в измерении времени прохождения ультразвукового импульса очень высокой частоты через материал объекта контроля. Частота таких ультразвуковых импульсов значительно превышает границы слышимости человеческого уха и составляет в целом от 1 до 20 миллионов циклов в секунду, в то время как предел слышимости человеческого уха составляет 20 тыс. циклов в секунду. Эти высокочастотные импульсы генерируются и принимаются устройством, называемым ультразвуковым преобразователем, который преобразует электрическую энергию в механические колебания и наоборот. Ультразвук, который используется в промышленной диагностике, плохо распространяется в воздухе, поэтому при контакте преобразователя с объектом контроля необходима контактная среда (контактная жидкость), роль которой могут выполнять такие вещества, как пропиленгликоль, глицерин, вода или масло [3, 4].

Большинство УТ используют эхо-импульсный метод измерения. Эхо-импульсный метод заключается в том, что ультразвуковые волны, генерируемые преобразователем, проникают в объект контроля и, отражаясь от противоположной поверхности объекта контроля, возвращаются обратно в преобразователь. Прибор очень точно измеряет временной интервал между посылкой импульса и приемом эхосигнала (рис. 2). Этот интервал может составлять лишь несколько миллионных долей секунды. Если толщиномер настроен на определенную скорость ультразвука в материале объекта контроля, он рассчитывает, используя данный временной интервал, толщину объекта контроля по следующей формуле (1):

$$t = \frac{VT}{2}, \quad (1)$$

где  $t$  – толщина объекта контроля;

$V$  – скорость ультразвука в материале объекта контроля;

$T$  – время прохождения ультразвуковой волны до отражающей поверхности и обратно

Важно отметить, что скорость ультразвука в материале объекта контроля является основным параметром расчетов. В различных материалах ультразвук распространяется с различной скоростью, а скорость распространения ультразвука в одном и том же материале в значительной степени зависит от температуры материала. Таким образом, всегда необходимо настраивать ультразвуковой толщиномер на скорость ультразвука в конкретном материале. Точность измерения будет зависеть от точности проведения настройки прибора.

Теоретически толщина любого конструкционного материала может быть измерена при помощи ультразвука. УТ могут использоваться для контроля объектов из металлов, пластмасс, керамики, композитов, эпоксидных смол и стекла. С помощью ультразвука также можно из-

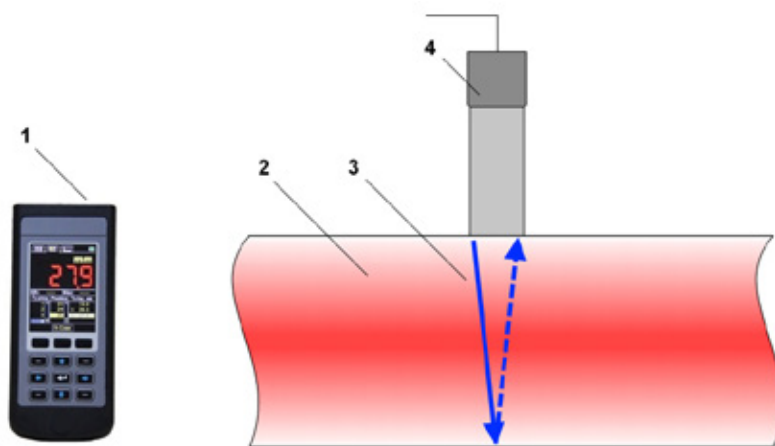


Рис. 2. Схема работы толщиномера:

1 – цифровой толщиномер; 2 – объект контроля; 3 – звуковая волна;  
4 – ультразвуковой датчик.

мерять уровни жидкости и толщину биологических образцов. С помощью ультразвука нельзя измерить лишь толщину деревянных, бумажных и бетонных объектов, а также изделий из пенопласта. Ультразвуковое измерение толщины в реальном масштабе времени или в процессе протекания технологических процессов также возможно. Ультразвуковыми средствами можно измерять толщину слоев или покрытий в многослойных материалах.

УТ состоит из генератора импульсов/приемника, логических схем управления и синхронизации, вычислительных схем, дисплея и источника питания. Генератор импульсов, управляемый микропроцессором, подает на преобразователь импульс возбуждения. Ультразвуковой импульс, генерируемый преобразователем, проникает в объект контроля. Эхосигналы, отраженные от противоположной или внутренней поверхности объекта контроля, принимаются преобразователем, преобразуются в электрические сигналы и подаются для обработки на усилитель приемника. Логические схемы управления и синхронизации, также управляемые микропроцессором, синхронизируют работу генератора и выбирают эхосигналы, не-

обходимые для измерения интервала времени. После получения эхосигналов схема синхронизации точно измеряет интервал времени, соответствующий прохождению ультразвукового импульса до отражающей поверхности и обратно в объекте контроля, и обычно повторяет этот процесс несколько раз, чтобы получить стабильное усредненное показание. После этого микропроцессор использует это значение интервала времени вместе с информацией о скорости звука и сдвиге нуля, сохраненной в ПЗУ, для расчета толщины. Полученное в результате расчетов значение толщины затем отображается и периодически обновляется на дисплее. Показания толщины могут быть также сохранены во внутренней памяти толщиномера или переданы на принтер или регистратор данных.

Большинство ультразвуковых измерений толщины выполняется одним из четырех типов преобразователей (контактным, с линией задержки, иммерсионным и раздельно-совмещенным). Каждый тип преобразователя имеет преимущества и ограничения.

Для выбора оптимального типа ультразвукового преобразователя необходимы дополнительные исследования.

### Литература

1. Эскин, Г.И. Ультразвуковая обработка расплавленного алюминия/ Г.И. Эскин — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1988.
2. Агранат, Б. А. Ультразвуковая технология/ Б. А. Агранат, В. И. Башкиров, Ю. И. Китайгорский, Н. Н. Хавский. — М.: Высш. шк., 1974.
3. Основы физики и техники ультразвука: Учеб. пособие для вузов/ Б.А. Агранат и др. — М., 1987.
4. Физические основы ультразвуковой технологии/ Под ред. Л. Д. Розенберга. — М., 1970.

## Интенсификация теплообмена в пружинно-винтовых каналах

Пантелеева Л.Р., кандидат технических наук, старший преподаватель  
Академия управления «Татарский институт содействия бизнесу» (г.Казань)

**И**нтенсификация конвективного теплообмена и связанные с ней задачи экспериментального и теоретического исследований приобретают в настоящее время значение самостоятельной, важной и быстро развивающейся области учения о теплообмене. Актуальность этой проблемы определяется стремлением к повышению интенсивности работы теплообменных устройств в сочетании с желанием сократить затраты энергии и добиться максимальной компактности при минимальной материалоемкости.

В настоящее время доля теплообменного оборудования в структуре производств различных отраслей промышленности РФ, в том числе и энергетике, составляет порядка 70%.

Анализ конструктивного оформления теплообменного оборудования показал, что в промышленной практике в большинстве случаев используются теплообменные аппараты с гладкотрубными тепловыми элементами. Они

отличаются низкой эффективностью теплообмена, значительными габаритами, а также высоким уровнем морального и физического износа (до 80%), вследствие длительного срока их эксплуатации (более 30 лет).

Эта проблема наблюдается в целом ряде важных отраслей промышленности, в том числе в пищевой, медицинской, химической и нефтехимической, а также в тепловых сетях и источниках энергоснабжения, среди которых ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС.

Одним из путей решения проблемы интенсификации процесса теплообмена является создание малогабаритной теплообменной аппаратуры большой единичной мощности с интенсифицированными тепловыми элементами, глобальная реконструкция и модернизация существующего парка теплообменного оборудования. Это становится особенно актуальным в условиях неуклонного роста цен на сырье, энергоносители, металл и прочие материалы.



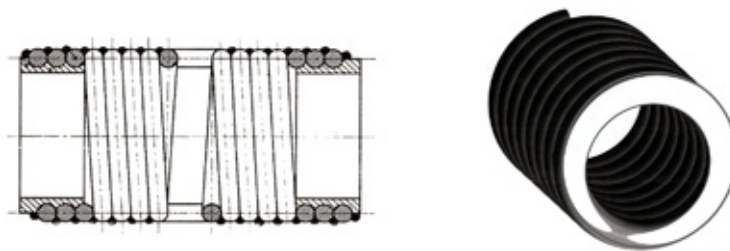


Рис. 1. Фрагмент кольцевого пружинно-винтового канала

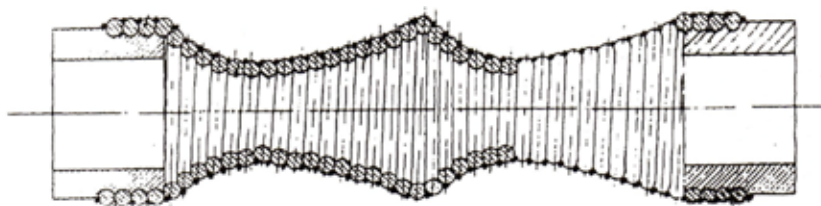


Рис. 2. Фрагмент пружинно-винтового канала типа «конфузор-диффузор»

Известно [1,2], что для обеспечения высокой тепло-энергетической эффективности и надежности работы энергетических установок, теплообменного оборудования весьма перспективным является использование закручивающих устройств, выполненных в виде локальных, непрерывных или периодически расположенных завихрителей, винтового оребрения с различной формой выступов, спиральных накаток, проволоочной навивки и др.

К конструкциям современного типа закручивающих устройств относятся и теплообменные элементы в виде пружинно-винтовых каналов [3–5], которые могут применяться в теплообменных аппаратах гравитационного и ротационного типов.

Поверхность предложенных теплообменных элементов выполнена из проволоки в виде тугй пружины, витки которой жестко скреплены (рис. 1, рис. 2).

Наиболее близкими к предлагаемому техническому решению являются известные теплообменные элементы в виде труб с винтовой накаткой или с пружинными вставками из проволоки, установленными в проточной части каналов [2]. Недостатками применения интенсификаторов в виде винтовой накатки, как известно, является их повышенное гидравлическое сопротивление, снижение прочности на продольный разрыв, вызванный образованием концентраций напряжений при пластической деформации стенки теплообменного элемента в процессе накатки выступов. Применение пружинно-винтовых каналов является, на мой взгляд, более эффективным, поскольку они отличаются развитой теплообменной поверхностью, потери на гидравлическое сопротивление в таких каналах небольшие в связи с тесным расположением выступов [1], а также в них не возникает нарушения контакта выступа с поверхностью нагреваемой трубы, что наблюдается при использовании пружинных вставок.

Выполнение теплообменного элемента в виде кольцевого пружинно-винтового канала (рис.1) производится путем навивки проволоки заданного диаметра на оправку требуемого диаметра круглой трубы с последующей лазерной сваркой по внешним периметру стыкам пружинной навивки (в случае ее неразъемного варианта), либо пайкой свинцом по внешнему периметру стыков (температура плавления –  $327,4^{\circ}\text{C}$ ) или оловом (температура плавления –  $232^{\circ}\text{C}$ ) в целях оплавления спаев для разведения витков пружины и чистки внутренней проточной части каналов от накипи (механическим путем или промывкой раствором).

Выполнение теплообменного элемента в виде пружинно-винтового канала типа «конфузор-диффузор» (рис.2) производится путем навивки проволоки заданного диаметра на разъемную профильную оправку, состоящую из элементов конфузора и диффузора, соединенных на резьбе. После навивки оправка извлекается из внутренней части теплообменного элемента, и предварительно подготовленные конфузорно-диффузорные элементы монтируются на цилиндрическую оправку (диаметром, равным отверстию перехода конфузора в диффузор) и свариваются лазерной сваркой по внешнему периметру стыков пружинной навивки. Технология изготовления возможна и путем навивки проволоки на выплавливаемый стержень (метод «по выплавливаемым моделям») с последующей лазерной сваркой стыков пружинной навивки.

Изготовление предлагаемых пружинно-витых каналов может быть легко автоматизировано и организовано на выпуск труб с широкой номенклатурой их диаметров и толщины стенок.

Выполнение теплообменного элемента в виде пружинно-винтового канала обуславливает существенную интенсификацию теплообмена за счет закрутки потока, причем уровень интенсивности закрутки формируется и

поддерживается винтовыми элементами на всем протяжении канала, а также процесса разрушения пристенного подслоя за счет регулярной шероховатости теплообменной поверхности.

Наличие спиральных выступов на наружной поверхности пружинно-винтовой трубы обеспечивает эффект внешнего оребрения, что увеличивает площадь теплообменной поверхности в 1,5...1,7 раз. Развитая теплообменная поверхность рассматриваемого теплообменника обуславливает интенсификацию теплообмена при умеренном росте потерь энергии на прокачивание теплоносителя и позволяет существенно снизить длину проточной части канала, а значит, и уменьшить капитальные затраты на изготовление теплообменного элемента.

Использование в теплообменной аппаратуре предлагаемых пружинно-винтовых элементов обуславливает двухсторонний эффект интенсификации, как со стороны внутренней, так и наружной поверхности. Кроме того, предлагаемый вид теплообменных элементов позволит создавать аппараты с плотно упакованным пучком труб, там, где не представляется возможным использование оребрения наружной поверхности труб.

Дополнительным и весьма важным обстоятельством, обуславливающим необходимость использования рассматриваемых теплообменных элементов, является снижение скорости солеотложений и накипи на стенках канала, так как периодические обновления пограничного слоя препятствуют осаждению загрязнений внутри рабочих элементов.

Следует отметить, что использование каналов конфузорно-диффузорного типа является одним из пер-

спективных способов интенсификации теплообмена, основанных на организации течения теплоносителя под действием различных неоднородностей давления. При этом развитие поверхности используется не только для простого увеличения теплового потока, но главным образом для создания в потоке благоприятной гидродинамической обстановки, способствующей интенсификации теплообмена. В [6–8] показано, что интенсивные вихреобразования, генерируемые в диффузорных участках, уносятся потоком и полезно используются в конфузорных участках. В конфузорных участках используется также эффект увеличения скоростей пристенных слоев жидкости. Известно [6], что теплосъем в конфузорно-диффузорных каналах с оптимальными геометрическими характеристиками при  $Re \approx 10^5$  увеличивается на 70% по сравнению с гладкой трубой при равных потерях на гидравлическое сопротивление. С целью повышения теплоэнергетической эффективности таких каналов предложена конструкция пружинно-винтового канала с конфузорно-диффузорными элементами (рис. 2).

Таким образом, использование предложенных теплообменных элементов с проведением исследований тепло-массообменных процессов в таких элементах представляется, на мой взгляд, весьма актуальным и перспективным. Разработанный математический аппарат гидродинамики и теплообмена при течении жидкости в пружинно-винтовом канале кольцевого типа [5] позволит установить основные тепло- и гидродинамические закономерности течения в таком канале, а также послужит базой для разработки методов инженерного расчета современной теплообменной аппаратуры, использующей теплообменные элементы указанного типа.

## Литература

1. Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах с завихрителями (Аналитический обзор) // Теплофизика высоких температур. 2003. Т. 41. № 4. С. 587–633.
2. Назмеев Ю.Г. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков реологически сложных жидкостей. — М.: Энергоатомиздат, 1996. 304 с.
3. Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д., Конахина И.А. Патент на полезную модель РФ 62694 МПК F28D7/00, F28D11/04. Теплообменный элемент: заявка №2006143517/22 от 07.12.2006. Опубл. 27.04.2007. Бюл. №12.
4. Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д. Патент на полезную модель РФ 64750 МПК F28D7/00, F28D11/04. Теплообменный элемент: заявка №2007107173/22 от 26.02.2007. Опубл. 10.07.2007. Бюл. №19.
5. Пантелеева Л.Р., Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д. Математическая модель гидродинамики и теплообмена при течении жидкости в пружинно-винтовом канале // Материалы докладов Международной научно-технической конференции «Энергетика-2008: инновации, решения, перспективы». В 5 кн.; Кн. 1 «Теплоэнергетика». — Казань: КГЭУ, 2008. С.88–92.
6. Гортышов Ю.Ф., Олимпиев В.В. Теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом. — Казань: КГТУ, 1999. 176 с.
7. Мигай В.К., Быстров П.Г. Интенсификация теплообмена в волнистых трубах // Теплоэнергетика. 1976. №11. С.74–76.
8. Пантелеева Л.Р. Теплообмен при ламинарном течении вязкой жидкости в теплообменных устройствах типа «труба в трубе» с вращающейся поверхностью «конфузор-диффузор». Дисс. ... канд. техн. наук. — Казань, 2005. 116 с.

## Разработка методики автоматической идентификации промышленных изделий на основе анализа методов маркировки

Орлов А.А., доктор технических наук; Провоторов А.В., студент; Астафьев А.В., студент  
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета

*В статье показана актуальность маркировки промышленных изделий. Проведены описание, анализ и сравнение методов маркировки изделий. Выявлены основные характеристики, позволяющие оценить возможность применения методов в трубопроводной промышленности. Составлена схема работы системы автоматической идентификации изделий с учетом особенностей рассматриваемого предприятия.*

Маркировка сегодня является неотъемлемой частью производства. Информация, наносимая на продукцию, служит для ее индивидуализации и идентификации, а также может содержать различного рода дополнительные сведения. Основными целями использования маркировки является идентификация, контроль потока объектов, сортировка, автоматизированная обработка, определение степени опасности. Перечисленные цели могут быть взаимосвязаны, например, для контроля потока объектов необходимо идентифицировать в нем каждый объект. Автоматизированная технология идентификации, основанная на маркировке, обеспечивает точность, экономию средств, возможность трассировки и наличие информации, необходимой для управления процессом производства.

В настоящее время на ОАО «Выксунский металлургический завод» (далее ОАО «ВМЗ») существует задача разработки и внедрения технологии маркировки, обеспечивающей достоверную и оперативную идентификацию объекта в потоке при наличии помех, механических повреждений, загрязнений и произвольном расположении идентифицируемого объекта (в частности трубопроводного изделия).

Целью работы является определение метода маркировки и разработка технологии (методики) и системы достоверной и оперативной идентификации трубопроводной продукции в условиях производства на ОАО «ВМЗ».

### 1. Анализ методов маркировки промышленных изделий

Опыт мировой и в частности российской промышленности показывает, что в настоящее время наиболее востребованными и часто используемыми методами маркировки изделий являются следующие методы.

**Метод ударно-точечной гравировки** иглой основан на механическом воздействии на маркируемую поверхность изделия заостренного стержня (иглы), изготовленного из сверхтвердого сплава. Игла размещена внутри специальной рабочей головки и совершает колебания под действием давления сжатого воздуха.

**Лазерная маркировка** состоит в модификации поверхности маркируемого материала под воздействием лазерного излучения. Изменение его оптических, химических или геометрических свойств вследствие локального разогрева, плавления и частичного испарения обуславливает

высокую степень разрешения лазерной маркировки при минимальном термомеханическом воздействии на маркируемое изделие.

**Электрохимическая маркировка** основана на протекании электрохимических реакций в среде электролита при воздействии электрического тока низкого напряжения, при которых изображение с трафарета переносится на токопроводящую поверхность маркируемого изделия.

Результатом таких реакции является либо изменение цвета поверхности изделия, либо изменение рельефа поверхности на глубину от 2–6 мкм до 0,2 мм в случае травления изделий из мягких металлов.

**Каплетруйная маркировка** представляет собой нанесение на товар условных обозначений, штрих-кодов с использованием нестираемых чернил. Маркировка проводится бесконтактным способом, когда продукт передвигается по конвейерной ленте, при этом не происходит прямого контакта с продуктом [1].

Каждый из описанных методов имеет как свои преимущества, так и недостатки. Для их сравнения необходимо выделить основные характеристики, которые качественно оценивают данный метод и имеют большое значение в рамках промышленного производства.

- Высокая стойкость нанесения.
- Прослеживаемость.
- Высокая скорость нанесения.
- Низкая стоимость.
- Низкое потребление расходных материалов.
- Отсутствие повреждений на поверхности после маркировки.
- Виды маркируемых поверхностей.
- Высокое качество нанесения.
- Поддержка нескольких цветов нанесения.

Из проведенного системного анализа вытекают следующие выводы.

Рассмотренные методы могут быть использованы для внедрения на производстве системы автоматического отслеживания деталей, благодаря высокой стойкости, прослеживаемости и качеству нанесения. Наиболее полно этим критериям соответствует метод лазерной маркировки. Метод каплетруйной маркировки в отличие от остальных поддерживает несколько цветов нанесения обозначений, что повышает степень распознаваемости изделий.

С точки зрения экономичности производства, наиболее важны такие характеристики, как высокая скорость нанесения, низкая стоимость внедрения и потребление расходных материалов. Метод лазерной маркировки в данном случае выделяется благодаря высокой скорости и отсутствию расходных материалов, но уступает остальным методам в стоимости внедрения.

Таким образом, исходя из потребностей ОАО «ВМЗ» по идентификации трубопроводной продукции наиболее оптимальным методом маркировки является метод капле струйной маркировки с использованием штрих-кода, наиболее соответствующий предъявленным требованиям. В выбранном методе в качестве распознаваемого элемента используется штрих-код или штриховой код.

## 2. Виды штриховых кодов и их анализ

Штриховой код — знак, предназначенный для автоматизированных идентификации и учета информации о товаре, закодированной в виде цифр и штрихов.

Проведем обзор наиболее популярных типов штрих-кодов для оценки их применимости в условиях рассматриваемого производства:

**Штрих-код EAN / UPC.** Каждому продукту назначается уникальный 13 цифровой номер, или 8 цифровой номер для небольших по размерам товаров, например, пачки сигарет.

**Штрих-код Interleaved 2 of 5 (ITF).** Это высокоплотный, с изменяемой длиной, только цифровой штрих-код. Его обычно применяют в тех областях, где требуются очень большие номера и уникально обозначенные упаковки.

**Штрих-код Codabar.** Это один из наиболее безопасных кодов и часто применяется для маркировки образцов крови и т. д. Имеет изменяющуюся длину.

**Штрих-код Code 39.** Один из первых разработанных для нанесения штрих-кодов, наиболее часто используется в розничной торговле. 44 символа могут быть закодированы, включая числа и все прописные буквы.

**Штрих-код Code 128.** Это высокоплотный буквенно-цифровой код, который использует полный набор символов из 128 ASCII. Он подразделяется на три комплекта символов, А, В и С. Используемый только в цифровой форме (Комплект С), штрих код чрезвычайно компактный [2].

**Двухразмерные 2d-коды (штрих-коды).** Многие 2d-коды были разработаны для того, чтобы упаковать больше закодированных данных на ту же площадь, которую занимает одномерный штрих-код. Один из наиболее популярных PDF417, может вместить 2000–2003 символов на место, занимаемое одномерным штрих-кодом, содержащим 20 символов.

Таким образом, наиболее оптимальным для рассматриваемого производства является штрих-код EAN / UPC. Это универсальный код, признанный стандартом в Европе и Америке.

## 3. Разработка методики автоматической идентификации изделий

Рассмотрим основные элементы систем автоматизированной идентификации изделий на предприятиях. В общем виде можно выделить следующие элементы.

1. Изделие с нанесенным штрих-кодом.
2. Сканер — устройство позволяющее считать штрих-код. Таким устройством также может быть видео-камера.
3. Система распознавания изображения штрих-кода.
4. Монитор — устройство для отображения информации в процессе идентификации.
5. База данных — локальное хранилище полученных данных.

Особенности рассматриваемого производства, а именно неровная форма изделий, предполагает внесение изменений в технологию идентификации, которая предусматривает нанесение штрих-кода на ровное неподвижное изделие, которое затем регистрирует сканирующие устройство. В частности, трубопроводные изделия имеют круглую форму, что затрудняет транспортировку в неподвижном состоянии. Возможны перекаты с последующим изменением положения нанесенного штрих-кода, что делает затруднительным или невозможным считывание информации.

Предложенная методика основана на следующем. Выходом из данной ситуации, является нанесение штрих-кода в двух местах на диагонально противоположных сторонах изделия. Для повышения вероятности успешной идентификации также следует увеличить размеры штрих-кода и установить дополнительный сканер на этапе считывания. Дополнительный сканер необходимо установить перпендикулярно расположению первого. Это обеспечит наибольшее покрытие поверхности детали. Общая схема процесса идентификации изделия с внесенными изменениями показана на рисунке 1.

Все данные подходы обеспечивают достоверную и оперативную идентификации рассматриваемой продукции при наличии помех, механических повреждений, загрязнений и произвольного расположения объекта в потоке производства.

## Заключение

В ходе проведенного исследования были рассмотрены и проанализированы технологии маркировки. Для осуществления поставленной задачи на рассматриваемом предприятии выбрана технология капле струйной маркировки с использованием штрих-кода.

Выполнен анализ методов штрих-кодирования промышленных изделий по выбранным характеристикам. Анализ дал возможность выбрать оптимальный метод штрих-кодирования, позволяющий эффективно проводить идентификацию изделий в рассматриваемых условиях производства — это штрих-код стандарта EAN / UPC.



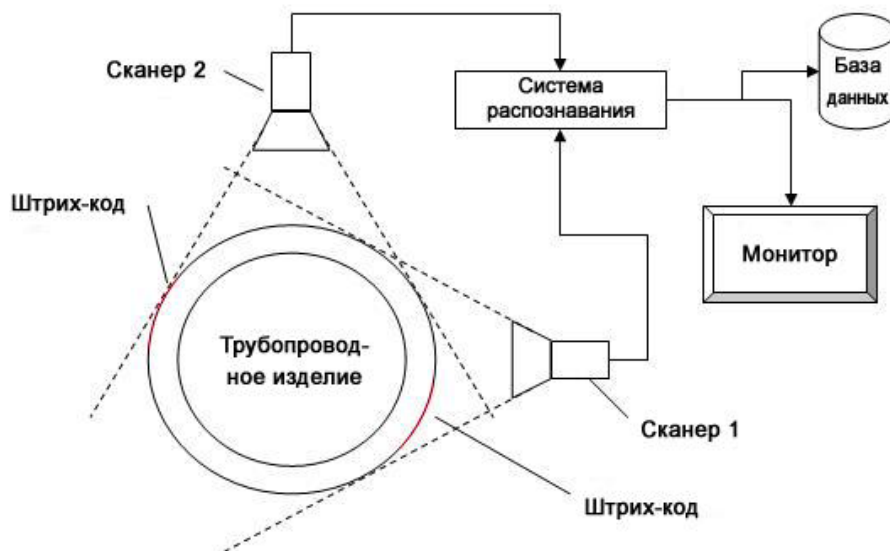


Рис. 1. Общая схема системы автоматической идентификации изделий

Выделенные методы скорректированы для установленных условий производства для получения наибольшей эффективности от внедрения системы автоматической идентификации изделий. Разработана

методика, осуществляющая достоверную и оперативную идентификацию трубопроводной продукции в условиях производства на ОАО «ВМЗ».

#### Литература

1. Семейкин А.Н. Основные правила упаковывания, маркировки, транспортировки и хранения промышленных изделий. – М.: ТД Металлов ЛТД, 2005.- 104 с.
2. Федько В.П. Упаковка и маркировка. – М.: 1998.-98 с.

## Перспективы применения режущих инструментов с СМП российского производства

Иванов В.В., доктор технических наук, профессор; Пряжникова А.А., аспирант  
Тюльский государственный университет

В условиях современного машиностроения РФ при механической обработке все более широкое применение находят инструменты зарубежного производства. С одной стороны, такая практика широко используется во многих странах мира. Однако, если такое положение дел не исправить, то наше государство может оказаться в полной зависимости от зарубежных поставщиков инструментов. А это может подорвать экономическую безопасность страны. Особенно негативно последствия этого отразятся на военно-промышленном комплексе. Тем не менее, в настоящее время наметилась положительная тенденция, способная исправить сложившуюся ситуацию. Так, основной производитель отечественных твердосплавных СМП ОАО «Кировградский завод твердых сплавов» (КЗТС) провел коренную реконструкцию их производства на базе современного технологического оборудования [3]. Несмотря на

это, сложившийся у потребителей стереотип низкого качества отечественных СМП, сдерживает их широкое применение, что препятствует оперативному решению проблемы импортозамещения инструментов. Во многом это также зависит и из-за отсутствия детальных технологических рекомендаций по рациональному их применению, которыми сопровождают свою продукцию зарубежные производители, например, руководство CoroGuide фирмы Sandvik Coromant [2]. Однако разработка полноценных отечественных рекомендаций применительно к СМП производства КЗТС достаточно длительна и трудоемка. Тем не менее, на первых порах, очевидно, можно воспользоваться возможностями CoroGuide, адаптировав их для отечественного аналога СМП путем введения поправочного коэффициента. Для этой цели необходимо провести сравнительные стойкостные испытания. Некоторые ре-



Таблица 1

## Результаты сравнительных испытаний

Производитель (год изготовления)	Форма СМП	Сплав	V, м/ мин	Путь резания, м	Время работы, мин	Износ задней по- верхности, мм
МКТС (1985)	2008–0422 (TPMR160304)	МС 3210 (M15-M20)	160	2911	18	0,19
	2008–0493 (TPMR160312)		180	6123	34	0,17
КЗТС (2005)  (2009)	TNMM160408	МС146-Н (M25)	107	2712	25	0,30
	WNMG 080408-R2	ТС40РТ (M25)	183	3024	16	0,20
Sandvik-МКТС (2008)	CNMG 120412–48	CT25 (M20)	169	4341	26	0,19
Sandvik Coromant (2007)	DNMG150408-PM	GC4235 (M35)	175	1494	9	0,16
Mitsubishi Carbide (2007)	SNMG 120404-MA	US735 (M35)	155	1529	10	0,20
Iscar (2008)	CNMG 120408-NR	IC 9250 (M05-M20)	221	3157	15	0,28

зультаты таких испытаний, полученные в условиях лаборатории резания Тульского государственного университета, приведены в таблице 1.

Эксперименты проведены при непрерывном продольном точении заготовок из коррозионно-стойкой стали марки 08X18H10T (область применения М по классификации ИСО) с глубиной резания  $t=0,5$  мм, подачей  $S=0,21$  мм/об без применения СОТС. Малая глубина резания позволила пренебречь влиянием главного угла в плане  $\phi$  и использовать СМП различной геометрической формы с соответствующими им резцовыми державками. При этом, применяли СМП из твердых сплавов, изготовленные в разное время различными производителями.

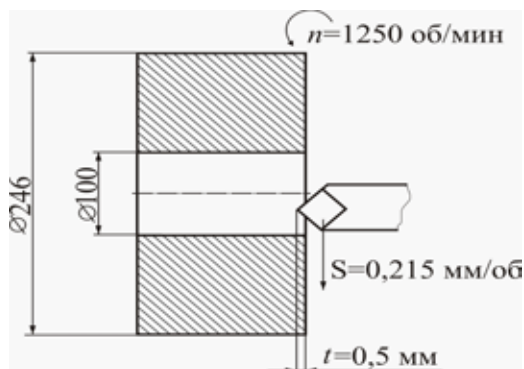
Из полученных результатов видно, что СМП нового поколения производства ОАО «КЗТС» по своей износостойкости вплотную приближаются к своим зарубежным аналогам. Интересно отметить тот факт, что в условиях данных экспериментов СМП формы 2008–0493 из сплава марки МС3210, в настоящее время снятый с производства, даже превосходит свой современный аналог марку CT25 производства Sandvik-МКТС. Превосходство этого сплава над современными аналогами GC4515 (Sandvik Coromant) и NC6110 (Korloy) было также установлено и при точении серого чугуна [1].

Достаточно высокие режущие свойства отечественных твердых сплавов также подтверждается и при ускоренных испытаниях, проведенных при торцовой обточке заготовки из стали 20 в соответствии со схемой на рисунке 1. Там же приведены полученные результаты. В данном случае величина износа задней поверхности более 0,3 мм, не допускаемая при чистовой обработке, соответствует только одной отечественной марке твердого сплава

AP10AM. Однако при этом, данный сплав превосходит свой Южнокорейский аналог — марку РС5300.

Номенклатура форм и размеров современных СМП для токарной обработки достаточно широка, что позволяет выбрать наиболее приемлемый формо-размер для каждого конкретного случая обработки. Так, для чистовой обработки деталей типа «тело вращения» со сложной геометрической конфигурацией, а также с пониженной жесткостью, в большей степени подходят твердосплавные СМП ромбической формы типа V... (по классификации ИСО) с острым углом при вершине  $35^\circ$  и радиусом ее закругления 0,2...0,4 мм. Это позволяет обеспечить минимальные силы резания и риск возникновения вибраций, что необходимо для достижения требуемых показателей качества обрабатываемых деталей данного класса. В то же время, острая вершина таких СМП склонна к быстрому прогреванию в процессе резания, что интенсифицирует ее изнашивание. В частности, об этом говорится в рекомендациях по металлообработке фирмы Sandvik Coromant [2]. Однако, при расчете режимов резания по руководству CoroGuide, той же фирмы, данное обстоятельство не учитывается. Не учитывается оно и в отечественных нормативах по режимам резания для твердосплавных резцов [4].

С учетом изложенного, в лабораторных условиях была проведена экспериментальная проверка влияния угла при вершине СМП на износостойкость ее контактных поверхностей. Для этой цели использовали СМП правильной 3-х гранной формы 2008–0422 по ТУ 48–19–307–80 (аналог по ИСО TPMR160304) из твердого сплава марки МС3210, на передней поверхности которых имеются стружкозавивающие канавки. На отдельных гранях таких СМП затачивали вершины с углом  $\epsilon=35^\circ$ . СМП



$$V_{100}=393 \text{ м/мин}$$

$$V_{246}=966 \text{ м/мин}$$

$$\text{Время работы } \tau=0,27 \text{ мин}$$

а)

№ п/п	Форма СМП	Марка сплава	$D_{\text{зат}}^*$ , мм	$V_{\text{зат}}^*$ , м/мин	Износ задней поверхности, мм
1	CNMG 120404-HS (Korloy)	PC5300 (M10-M25)	234	919	4,03
2	CNMG 120404-43 (Sandvik-MKTC)	CT15 (P15)	-	-	0,12
3	CNMG 120408-PR (Sandvik Coromant)	GC4225 (M05-M25)	-	-	0,12
4	CNMG 120404-FI (K3TC)	AP10AM (M10-M20)	-	-	1,1
5	CNMG 120404-FI (K3TC)	BP20AT (M10-M20)	-	-	0,14
6	WNMG 080408-M2 (K3TC)	AP10AM (M10-M20)	226	887	2,87
7	WNMG 080408-R2 (K3TC)	TC40PT (M20-M30)	-	-	0,08
8	2008-0422 (МКТС)	МС 3210 (M15-M20)	-	-	0,16
9	2008-0493 (МКТС)		-	-	0,05

\*Диаметр, при котором произошло катастрофическое затупление

б)

Рис. 1. Эксперименты при торцовом точении: а) схема обработки; б) результаты экспериментов

закрепляли в державку типа СТТР2520M16. За счет разворота резцедержателя обеспечивали главный угол в плане  $\varphi=90^\circ$ . Стойкостные опыты проведены при точении стали 38Х2МЮА (твёрдость в состоянии поставки круглого проката  $\varnothing 80$  мм) с чистовыми режимами обработки:  $t=0,5$  мм,  $S=0,15$  мм/об, без применения СОТС. Результаты приведены в таблице 2, в которой также указаны средние значения термо-ЭДС, зафиксированные в ходе экспериментов.

Из них видно, что вершине с углом  $\varepsilon=35^\circ$  соответствует большая величина износа задней поверхности. Это является следствием более высокой температуры резания. Таким образом, результаты этих экспериментов показывают, что при наличии стружкозавивающих канавок вершина с углом  $\varepsilon=35^\circ$  изнашивается больше, чем вершина с углом  $\varepsilon=60^\circ$ , вследствие более высокой температуры резания. Данную особенность необходимо учитывать при эксплуатации резцов с различными углами при вершине и для вершины с меньшим значением угла  $\varepsilon$  ско-

рость резания должна быть принята меньшей. На основании результатов этих экспериментов можно определить значение поправочного коэффициента  $K_{V_\varepsilon}$  на скорость резания, учитывающего величину угла при вершине  $\varepsilon$ . Так, если принять за критерий затупления износ задней поверхности  $\delta=0,15...0,2$  мм, характерный для чистовой обработки, а скорость резания для резца с углом при вершине  $\varepsilon=60^\circ$  за эталон, то:

$$K_{V_{\varepsilon=35}} = \frac{V_{\varepsilon=35}}{V_{\varepsilon=60}} = \frac{241}{285} = 0,85.$$

В связи с изложенным, существующие нормативы по режимам резания для твердосплавных СМП со стружкозавивающими элементами на передней поверхности необходимо дополнить введением поправочного коэффициента  $K_{V_\varepsilon}$ , поскольку в номенклатуре современных СМП прочно укрепилась форма СМП типа V... с углом при вершине  $\varepsilon=35^\circ$ , которая подвержена большему изнашиванию.

Таблица 2

Результаты эксперимента с СМП формы 2008-0422 при точении стали 38Х2МЮА

Угол при вершине $\varepsilon, ^\circ$	Средняя скорость резания $V$ , м/мин	Суммарный путь резания $\Sigma L$ , м	Суммарное время обработки $\Sigma \tau$ , мин	Износ задней поверхности $\delta$ , мм	Среднее значение термо-ЭДС, mV
35	186	756	4,06	0,19	11,7
	240	1081	4,48	0,21	12,2
	283	735	2,60	0,21	-
60	188	766	4,06	0,08	10,2
	242	1279	5,27	0,15	11,3
	287	746	2,60	0,22	-

Таблица 3  
Результаты экспериментов с СМП формы 2008–0153 при точении стали 38Х2МЮА

Угол при вершине $\epsilon$ , °	Средняя скорость резания $V$ , м/мин	Суммарный путь резания $\Sigma L$ , м	Суммарное время обработки $\Sigma t$ , мин	Износ задней поверхности $\delta$ , мм	Среднее значение термо-ЭДС, mV
35	110	715	6,5	0,40	13,70
60	$\varphi=90^\circ$	111	725	6,5	14,21
	$\varphi=60^\circ$	108	695	6,5	13,81

При использовании СМП с плоской передней поверхностью необходимость введения коэффициента  $K_{V_\epsilon}$  отпадает. Справедливость этого утверждения основана на результатах следующих экспериментов с применением СМП 3-х гранной формы 2008–0153 (ТУ 48–19–307–80) их сплава Т5К10. На отдельных гранях СМП были также заточены вершины с углом  $\epsilon=35^\circ$ , которые закреплялись в той же резцовой державке. Полученные результаты при обработке стали 38Х2МЮА с  $t=0,5$  мм и  $S=0,15$  мм/об приведены в таблице 3.

Анализ полученных результатов показывает, что в данном случае износ задней поверхности на сравниваемых вершинах практически одинаков. Это вызвано тем, что вершине с углом  $\epsilon=35^\circ$  соответствует меньшее значение термо-ЭДС (температуры резания) за счет принудительного ограничения площадки контакта стружки с передней поверхностью, обусловленного положением вспомогательной режущей кромки. Однако из-за неблагоприятной формы стружки применение СМП с плоской передней поверхностью на практике будет малоэффективным.

### Литература

1. Иванов В.В., Толкачев К.А. Выбор марки твердого сплава для обработки серого чугуна. / Иванов В.В., Толкачев К.А. // СТИН. — 2010. — №2. — С. 14–17.
2. Металлорежущий инструмент Sandvik Coromant. Основной каталог. — 2008. — <http://www.coromant.sandvik.com/ru>.
3. ОАО «Кировградский завод твердых сплавов». Каталог. Пластины сменные многогранные твердосплавные. — 2010. — <http://www.kzts.ru>.
4. Справочник металлиста. В 5-ти томах. — Под ред. к.т.н. А.Н. Малова. — т.4. — М.: Государственное научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 1959. — 778 с.

## Нестрогое сопоставление записей реляционных баз данных с использованием редакционного расстояния между кортежами и ключевого набора атрибутов

Райкова О.А., ст.преподаватель

Липецкий государственный педагогический университет

В процессе функционирования информационных систем приходится сталкиваться с проблемами контроля качества данных. Данные в информационные системы попадают, как правило, двумя путями: непосредственный пользовательский ввод и интеграция с другими системами (при этом первоначально данные так же вносились пользователем) [1]. Присутствие «человеческого фактора» приводит к появлению ошибок в данных, что может негативно сказаться на процессе принятия решений. Ошибки в свою очередь приводят к тому, что в системе появляются так называемые нестрогие дубликаты, то есть записи, отличающиеся только наличием ошибок. Для обеспечения доступа к точным и согласованным данным необходимо исключение дублирующейся информации. Наличие разного рода ошибок приводит к тому, что точные методы поиска не дают необходимых результатов.

В данной работе рассматривается задача нестроого сопоставления записей [2], хранящихся в реляционной базе данных. Будет введено редакционное расстояние между кортежами и рассмотрена процедура выделения набора атрибутов для сопоставления с разделением этих атрибутов на основные (первичный ключ сопоставления) и дополнительные. Так же будет рассмотрено двухэтапное сопоставление записей по двум группам атрибутов.

Большинство методов нестроого сопоставления данных ориентировано на неструктурированный или слабо структурированный текст. Отличительной же чертой хранения информации в реляционной базе данных является ее строгая структурированность. Это свойство заставляет адаптировать существующие алгоритмы для структурированных данных.

Самым простым способом такой адаптации было бы преобразование записи таблицы в строку путем перечисления значений каждого поля через пробел. Однако увеличение длины строки приведет к росту количества вычислений, а значит и занимаемых ресурсов. Рассмотрим метод нестрогого сопоставления с учетом структурированной природы данных.

Перед выполнением процедуры сопоставления необходимо принять решение о том, какие атрибуты будут в ней участвовать. Логично предположить, что не все атрибуты отношения имеет смысл включать в сопоставление. Например, суррогатные идентификаторы записей не дадут никакой дополнительной информации, так как в каждой из сопоставляемых баз они генерируются независимо.

Пусть  $X$  и  $Y$  — реляционные отношения [3], кортежи которых необходимо сопоставить в нестрогом смысле,  $A = sch X = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ ,  $B = sch Y = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$  — схемы отношений. В каждой из этих схем отношений выберем подмножество атрибутов для сопоставления:

$$A' = \{A'_1, A'_2, \dots, A'_r\}, A' \in A$$

$$B' = \{B'_1, B'_2, \dots, B'_r\}, B' \in B, где r \leq \min(m, n).$$

Отметим, что схемы сопоставляемых отношений первоначально могут не совпадать (например, в одном отношении фамилия, имя и отчество физического лица представляются одним атрибутом, а в другом — тремя). Однако в данной работе вопрос сопоставления схем не рассматривается и предполагается, что части схемы сопоставлены предварительно. Это нетрудно сделать с помощью построения представлений.

В связи с выделением подмножеств атрибутов для сопоставления возможны следующие ситуации. Данных атрибутов может быть недостаточно, чтобы идентифицировать запись, то есть количество ложных срабатываний (ситуаций, когда записи, не являющиеся дубликатами, из-за недостаточной информации определяются как нестрогие дубликаты) при сопоставлении будет слишком велико. В этом случае необходимо добавить дополнительные атрибуты к выбранным. Противоположной ситуацией может оказаться избыточность выбранных атрибутов, что приведет к дополнительным вычислениям, а значит дополнительным затратам ресурсов и времени. Отметим, что вопрос оптимального выбора набора атрибутов для сопоставления остается пока открытым. Однако в общем случае для каждого отношения будем рассматривать два непересекающихся подмножества исходного множества атрибутов:

$$A' = \{A'_1, A'_2, \dots, A'_r\}, B' = \{B'_1, B'_2, \dots, B'_r\} \text{ и}$$

$$A'_k = \{A'_{k1}, A'_{k2}, \dots, A'_{kr}\}, B'_k = \{B'_{k1}, B'_{k2}, \dots, B'_{kr}\},$$

$$A', A'_k \in A, B', B'_k \in B,$$

где  $r \leq \min(m, n)$  и  $k \leq r$ .  $A'_k$  и  $B'_k$  будем называть первичным ключом сопоставления. Можно так же использовать следующую запись:

$$A' = \{A'_1, A'_2, \dots, A'_k, A'_{k+1}, \dots, A'_r\},$$

$$B' = \{B'_1, B'_2, \dots, B'_k, B'_{k+1}, \dots, B'_r\}.$$

При этом понятие первичного ключа в данном случае не аналогично соответствующему понятию реляционных баз данных. В данном случае первичный ключ идентифицирует запись с некоторой погрешностью, то есть в данном отношении могут существовать записи с таким же ключом сопоставления. Нужно выбирать ключ таким образом, чтобы количество таких записей было небольшим. Отметим, что на практике можно проводить анализ ключа сопоставления для определения того, насколько хорошо он идентифицирует запись выбранного отношения.

Поля, которые мы назвали первичным ключом, будут являться основными полями для сопоставления, а остальные — дополнительными. В соответствии с этим будем проводить сопоставление в два этапа.

На первом этапе каждому кортежу, соответствующему схеме  $A'$  будет поставлено в соответствие множество кортежей схемы  $B'$  по первичному ключу сопоставления. Это множество может быть пустым. С учетом того, что при сопоставлении будет использоваться нестрогое сравнение, будем использовать для этой операции термин «нестрогое соединение», введенный в работе [2]. Эта операция для отношений  $A$  и  $B$  обозначается символом  $\bowtie$  и определим как отношение, составленное из всех пар записей отношений-аргументов, соответствующие значения полей которых близки, то есть расстояние между ними не превосходит заданного порогового значения:

$$A \bowtie B \stackrel{\text{def}}{=} \sigma_{\rho(A, B, a) \leq h}(A \times B)$$

где  $\sigma_{\rho(A, B, a)}$  — расстояние редактирования между соответствующими атрибутами отношений,  $h$  — пороговое значение расстояния редактирования.

Таким образом, выполнив нестрогое соединение по ключу сопоставления, получим отношение, состоящее из всех пар записей, соответствующие значения атрибутов которых близки. Получить кортежи отношения  $X$ , которым соответствует больше одного кортежа отношения  $Y$ , и наоборот, можно выполнив соответствующие группировки.

Для элементов, которым соответствует множество размерности больше единицы, проведем второй этап сопоставления по дополнительным атрибутам, уменьшив таким образом результирующее множество.

Нестрогие реляционные операции, введенные в работе [2], позволяют получить только результирующее множество. Далее предлагается способ вычислить расстояние редактирования (Левенштейна) [4] между сопоставляемыми кортежами. Численное значение расстояния редактирования позволит более точно судить о степени схожести записей и при

необходимости делать выбор между несколькими потенциальными дубликатами.

Самым простым способом получения результирующего значения расстояния редактирования между кортежами можно считать учет результатов сопоставления значения каждого атрибута в равной степени. Расстояние между кортежами  $A$  и  $B$  будем обозначать  $D(A, B)$ . Таким образом, расстояние редактирования между кортежами может быть вычислено по следующей формуле:

$$D(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^n d(A.a_i, B.b_i)}{n},$$

где  $n$  — количество атрибутов, участвующих в сопоставлении,

$d_i$  — расстояние редактирования между значениями соответствующих атрибутов.

Покажем, что введенное расстояние между кортежами является метрикой. Докажем аксиомы метрики:

Покажем, что  $D(A, B) \geq 0$ .

Так как  $d(x, y)$  — расстояние Левенштейна, которое является метрикой, то  $\forall d(A.a_i, B.b_i) \geq 0, i = 1, \dots, n$ . И  $n > 0$ , следовательно,  $D(A, B) \geq 0$ .

Покажем, что  $D(A, B) = 0 \Leftrightarrow A = B$ . Будем считать, что кортежи  $A$  и  $B$  равны, если все значения соответствующих атрибутов отношений совпадают.

Так как  $d(x, y) \geq 0$ , для того чтобы  $\sum_{i=1}^n d(A.a_i, B.b_i)$  равнялась нулю, необходимо, чтобы  $\forall d(A.a_i, B.b_i) = 0, i = 1, \dots, n$  а это означает, что все значения соответствующих атрибутов отношений совпадают, то есть кортежи  $A$  и  $B$  равны.

Покажем, что  $D(A, B) = D(B, A)$ .

Так как  $d(x, y) = d(y, x) \Rightarrow$

$$D(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^n d(A.a_i, B.b_i)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n d(B.b_i, A.a_i)}{n} = D(B, A)$$

Покажем, что  $D(A, B) \leq D(A, C) + D(C, B)$ .

$$\frac{\sum_{i=1}^n d(A.a_i, C.c_i)}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n d(C.c_i, B.b_i)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (d(A.a_i, C.c_i) + d(C.c_i, B.b_i))}{n}$$

Так как  $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$ ,

$$\frac{\sum_{i=1}^n (d(A.a_i, C.c_i) + d(C.c_i, B.b_i))}{n} \geq d(A.a_i, B.b_i).$$

В приведенной выше формуле мы рассматриваем только факт наличия/отсутствия ошибок в словах. Однако атрибуты могут иметь разный семантический вес в отношении (важность). Например, очевидно, что в отношении, описывающем сотрудников организации и содержащем фамилию, имя, отчество и дату рождения, отчество будет иметь наименьший семантический вес. В качестве примера рассмотрим следующие записи:

№	Фамилия	Имя	Отчество	Дата рождения
1	Абакумов	Анатолий	Егорович	10.10.1970
2	Воронов	Анатолий	Егорович	10.10.1970
3	Абакумов	Анатолий	Андреевич	10.10.1970

Легко вычислить, что расстояние редактирования между записями (1) и (2) равно расстоянию редактирования между записями (1) и (3), однако более вероятно, что дубликатами являются записи с одинаковой фамилией.

Чтобы учесть это, можно использовать дополнительные весовые коэффициенты для атрибутов. Похожий подход существует в методах информационного поиска [5]. Таким образом, формула приобретает следующий вид:

$$D(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^n c_i d(A.a_i, B.b_i)}{n},$$

где  $c_i$  — весовые коэффициенты.

В заключении рассмотрим вопрос о способах назначения весовых коэффициентов атрибутам отношения. На данном этапе предлагается назначение коэффициентов экспертом, однако в дальнейшем планируется рассмотреть способы расчета коэффициентов на основе информации о длине и типе данных атрибута. Полученные значения можно использовать как для непосредственного вычисления расстояния, так в качестве рекомендаций эксперту.

Таким образом, в данной работе были рассмотрены некоторые аспекты задачи сопоставления записей реляционных баз данных. Было введено понятие редакционного расстояния между реляционными кортежами и предложен способ вычисления расстояния между записями как без учета семантического веса атрибутов, так и с его использованием. Так



же рассмотрена процедура сопоставления с использованием двух групп атрибутов: основных (первичный ключ сопоставления) и дополнительных, которая позволяет более гибко управлять процессом сопоставления записей.

### Литература

1. Тарасов С. Управление качеством данных на основе алгоритмов нечеткого поиска // Мир ПК. 2007. № 11.
2. Федоркова Г. О. Разработка специального математического обеспечения для отождествления записей в базах данных на основе операций нестрогого соответствия.: дис. канд. техн. наук: 05.13.11, Липецк, 2005, 158 с. РГБ ОД, 61:05-5/3233.
3. Дейт, К. Д. Введение в системы баз данных, 7-е издание. Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2001.
4. Левенштейн. В.И. Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещений символов. Докл. АН СССР, 163, 4, стр. 845-848, 1965.
5. Губин М. В. Модели и методы представления текстового документа в системах информационного поиска.: дис. канд. физ.-мат. наук: 05.13.11, Санкт-Петербург, 2005, 95 с.

## Теоретическое и экспериментальное исследование нагрузок главной линии пильгерстана

Раскатов Е.Ю., кандидат технических наук, доцент

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Технология трубопрокатных агрегатов с пилигримовым станом в производстве труб появилась порядка 120 лет назад. Такое оборудование до сих пор используется на трубных предприятиях. В мире эксплуатируются около 50 трубопрокатных установок с пилигримовыми станами, 12 из которых производят трубы диаметром более 406 мм [1].

В технической литературе с достаточной полнотой рассмотрен технологический процесс и энергосиловые характеристики периодической горячей прокатки труб на пилигримовых станах, называемых также пильгерстанами. В известных работах отечественных ученых представлены силовые условия процесса деформации заготовки, позволяющие определить усилия и моменты при прокатке в зависимости от заданных характеристик процесса, параметров инструмента и свойств деформируемого металла. Однако существует значительный дефицит информации о работоспособности оборудования пильгерстанов. В этом плане большой интерес представляют сведения о нагруженности главной линии, в частности крутящие моменты и их соотношения на шпинделях рабочих валков с учетом динамических нагрузок. Тяжелый динамический режим работы основного оборудования, необходимость расширения сортамента, марок стали и типоразмеров заказываемых труб, совершенствование технологии, в том числе уточнение коэффициентов обжатия и вытяжек, определяют необходимость прогнозной оценки работоспособности оборудования. В этих условиях была поставлена задача широкого изучения энергосиловых фактических характеристик стана путем натурных замеров на существующих маршрутах прокатки.

Главный приводной механизм таких станов включает в себя электродвигатель постоянного тока, снабженный массивным маховиком для защиты от пиковых нагрузок,

и сообщающий движение валкам одновременно каждой из двух рабочих клетей через коренной вал, шестеренные клетки и карданные универсальные шпиндели. Периодический динамический характер взаимодействия валков с заготовкой существенно влияет на характер нагружения шпинделей. Наличие больших маховых масс основного приводного механизма валков, значительные мощности холостого хода и влияние массивного маховика исключают реальную оценку нагруженности каждого из шпинделей по электрическим показателям главного двигателя. В связи с этим выполнены тензометрические замеры крутящих моментов на каждом из двух шпинделей при прокатке труб из конструкционных и легированных сталей по характерным маршрутам. Синхронная запись результатов измерений крутящих моментов на шпинделях рабочих валков и характеристик подающего аппарата является основанием для определения условий циклического взаимодействия основных исполнительных механизмов и поиска рациональных управляющих параметров.

В установившемся процессе пилигримовой прокатки за каждый оборот валков осуществляется полный цикл обжатия шаговой части заготовки. При этом согласно данным работ [1, 2], изменение момента при прокатке имеет куполообразный характер, а максимальные значения достигаются в конце обжимного участка при угле поворота валков на 0,45–0,60 рад, превышая начальные значения на 15–20%. Однако практические измерения крутящих моментов на шпинделях рабочих валков каждой из двух клетей показали существенные отличия, как в характере изменения, так и в начальных значениях крутящих моментов, зарегистрированных с помощью тензодатчиков, от моментов, которые рассчитываются из условия взаимодействия формообразующей поверхности

рабочих валков с прокатываемым металлом.

В процессе испытаний было прокатано несколько десятков заготовок из различных сталей по семи маршрутам прокатки с одновременной регистрацией усилий и напряжений на валах шпинделей, на штоке подающего аппарата, а также давления в тормозной камере подающего аппарата. Прокатка на пилгерстане осуществлялась при углах кантовки гильзы  $70^\circ$ – $75^\circ$  с подачей за цикл около 15–20 мм.

Анализ результатов исследования свидетельствует о том, что максимальные значения крутящих моментов имеют нестационарный характер в период установившегося процесса прокатки [3]. При прокатке заготовки из нержавеющей стали математическое ожидание максимального крутящего момента на нижнем, наиболее нагруженном шпинделе по 113 циклам (затравочный режим был исключен) составило 1630 кН·м при общем диапазоне изменений моментов от 500 до 2350 кН·м. Из результатов измерений следует, что крутящие моменты существенно изменялись в процессе установившегося режима прокатки (от 600 кН·м в начале до 2325 кН·м в конце) на нижнем шпинделе и от 500 до 1690 кН·м — на верхнем шпинделе. При этом 75% максимальных значений приходятся на диапазон 1300–2100 кН·м и 50% случаев — на диапазон 1600–2100 кН·м. Случаи превышения максимальных значений крутящих моментов значений 1700 кН·м составили 37% и только 14% зарегистрированных на нижнем шпинделе не превышали 1000 кН·м. Завышенные значения крутящих моментов приходятся на последнюю треть периода прокатки, что можно отнести к снижению температуры за время прокатки одной гильзы.

Выполнена сравнительная оценка предельно допустимых нагрузок по условию усталостной прочности шпиндельных узлов со значениями крутящих моментов, зарегистрированных при прокатке труб по характерным маршрутам. Показано, что по условию длительной усталостной прочности предельно допустимые нагрузки применяемых универсальных шпинделей рабочей клетки не должны превышать 1600 кН·м. Эти значения положены в основу настройки предохранительных устройств и разработаны рекомендации по дальнейшему увеличению нагрузочной способности соединительных валов.

При пилигримовой прокатке бесшовных труб цикл деформации гильзы периодически осуществляется за один оборот валков с переменным радиусом калибра, причем направление вращения валков противоположно направлению подачи гильзы, т.е. особенно важно теоретически оценить условия захвата металла валками, закономерности формирования мгновенного очага деформации, и изменения скорости перемещения гильзы, а также уровень динамических нагрузок в линии привода пилигримового стана. Отсутствие точного метода определения параметров мгновенного очага деформации при пилигримовой прокатке затрудняет оценку имеющихся приближенных решений.

Уравнение движения гильзы при её захвате имеет вид:

$$\frac{G}{2g} \cdot \frac{dV_r}{dt} = \pi R^2 \cdot \delta \cdot (\tau_k \cos \alpha - \sigma_n \sin \alpha), \quad (1)$$

где  $G$  — вес гильзы и дорна, кН;

$V_r$  — скорость перемещения гильзы, м/с;

$R$  — переменный радиус бойковой части валка, м;

$\delta$  — дуга соприкосновения металла с валками, рад;

$\tau_k$  — касательное контактное сопротивление, МПа;

$\sigma_n$  — нормальное напряжение, МПа;

$\alpha$  — угол захвата, рад.

Скорость гильзы и угол  $\delta$  связаны зависимостью [2]:

$$V_r = R \cdot \cos \alpha \cdot \frac{d\delta}{dt}, \quad (2)$$

Подставив зависимость (2) в уравнение (1) получим дифференциальное уравнение для  $\delta$ :

$$\frac{d\delta^2}{dt^2} + \beta_1^2 \cdot \delta = 0, \quad (3)$$

$$\text{где } \beta_1 = \sqrt{\frac{2\pi \cdot g \cdot R \cdot (\sigma_n \cdot \operatorname{tg} \alpha - \tau_k)}{G}} \quad (4)$$

Общее решение уравнения (3) имеет вид

$$\delta = c_1 \cdot \sin \beta_1 t + c_2 \cdot \cos \beta_1 t.$$

$$\text{Начальные условия: } t = 0, \delta = 0, \frac{d\delta}{dt} = \omega_0,$$

где  $\omega_0$  — угловая скорость валка, 1/с.

С учетом начальных условий зависимость для определения дуги соприкосновения металла с валками принимает вид:

$$\delta = \frac{\omega_0}{\beta_1} \cdot \sin \beta_1 t, \quad (5)$$

отсюда

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_0 \cdot \cos \beta_1 t \quad (6)$$

С учетом (6) зависимость для определения скорости гильзы принимает вид:

$$V_r = R \cdot \cos \alpha \cdot \omega_0 \cdot \cos \beta_1 t. \quad (7)$$

Расчет параметров механической системы пилигримового стана показал, что отношение массы якоря двигателя и маховика к суммарной массе системы, которое называют коэффициентом распределения масс, близка к единице. В связи с этим амплитуда колебаний якоря и маховика в десятки раз меньше амплитуды колебаний валка, а переходный процесс захвата гильзы валками может без больших погрешностей рассматриваться как упругие колебания приведенной массы валка относительно якоря двигателя и маховика, вращающихся с постоянной скоростью.

Для одномассовой расчетной модели дифференциальное уравнение движения валка при наличии упругой

связи в переходной стадии захвата имеет вид:

$$J \cdot \ddot{\varphi} + c \cdot \varphi = -\pi R^3 \cdot \delta \cdot \tau_k, \quad (8)$$

где  $J$  — момент инерции вала,  $\text{т} \cdot \text{м}^2$  ( $\text{кН} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ );

$\varphi$  — угол поворота вала, рад;

$\ddot{\varphi}$  — угловое ускорение вала,  $\text{с}^{-2}$ ;

$c$  — жесткость упругой связи,  $\text{кН} \cdot \text{м}$ .

Подставив  $\delta$  из (5) в уравнение (8) получим:

$$J \cdot \ddot{\varphi} + c \cdot \varphi = -\pi R^3 \cdot \tau_k \cdot \frac{\omega_0}{\beta_1} \cdot \sin \beta_1 t, \quad (9)$$

$$\ddot{\varphi} + \beta^2 \cdot \varphi = h \cdot \sin \beta_1 t, \quad (10)$$

$$\text{где } \beta = \sqrt{\frac{c}{J}}, \text{ с}^{-1}; \quad h = \frac{\pi R^3 \cdot \tau_k \cdot \omega_0}{J \cdot \beta_1}, \text{ с}^{-2}. \quad (11)$$

Общее решение дифференциального уравнения (10):

$$\varphi = c_1 \cdot \cos \beta t + c_2 \cdot \sin \beta t + \frac{h}{\beta^2 - \beta_1^2} \cdot \sin \beta_1 t. \quad (12)$$

#### Литература:

1. Шевакин Ю.Ф., Коликов А.П., Райков Ю.Н. Производство труб. М.: Интермет Инжиниринг, 2005. 564 с.
2. Целиков А.И. Теория расчета усилий в прокатных станах. М.: Металлургиздат, 1962. 494 с.
3. Измерение нагрузок на шпинделях валков пильгерстана / Чечулин Ю.Б. [и др.] // Металлург. 2007. №6. С. 47–49.

## Автоматический комплекс конвейерного типа

Месропян А.В., доктор технических наук, профессор; Рафикова Э.И., студент  
Уфимский государственный авиационный технический университет

Актуальной проблемой, в связи с ростом автопарка в современных мегаполисах, является организация автоматической мойки, отвечающей современным требованиям промышленной и экологической безопасности. Одной из перспективных технологий автомоечного бизнеса является бесконтактная конвейерная мойка.

Конвейеры отличаются от порталных автоматических моек тем, что обслуживаемые автомобили перемещаются вдоль моеющего оборудования по конвейерной ленте. Фрикционные материалы заменяются струей воды и моющими средствами, которые удовлетворяют требования эффективности и экологической безопасности [1].

Конвейерные мойки предназначены для обслуживания плотного потока клиентов за относительно короткое время. Преимуществом данной мойки также является минимальное вмешательство человека, высокое качество мытья и широкий выбор программ мытья автомобиля, комплект которых каждый выбирает по-своему желанию.

В настоящее время наибольшей известностью пользуются производители автомоечного оборудования из США

и Европы. В первую очередь, это компании WashTec (Германия) и Tammermatic (Финляндия). Их линейка конвейерных моек одна из самых широких на рынке. В России моечные конвейеры от этих производителей зарекомендовали себя исключительно положительно [2].

$$\varphi = \frac{h}{\beta^2 - \beta_1^2} \cdot \left( \sin \beta_1 t - \frac{\beta_1}{\beta} \cdot \sin \beta t \right). \quad (13)$$

Динамический момент крутильных колебаний

$$M^A = \frac{c \cdot h}{\beta^2 - \beta_1^2} \cdot \left( \sin \beta_1 t - \frac{\beta_1}{\beta} \cdot \sin \beta t \right). \quad (14)$$

#### Заключение

На основе теоретического исследования динамики захвата гильзы валами пилигримового стана разработана методика расчета максимальных динамических нагрузок, возникающих в линии привода пилигримового стана, при мгновенном приложении нагрузок.

Выполненные измерения позволили установить значения показателей работы исполнительных и приводных устройств пильгерстана, дать их оценку и выработать рекомендации о направлениях совершенствования оборудования, настройки и управления станом.

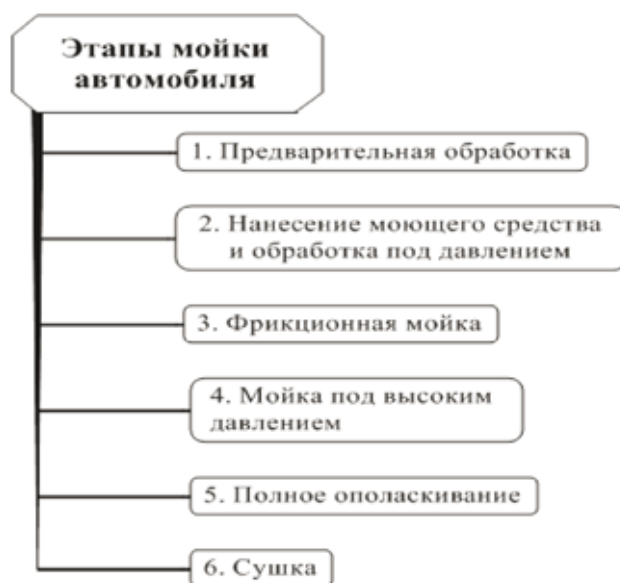


Рис. 1. Этапы мойки автомобиля

добавляют в систему только для восполнения потерь (5–20 % от всей используемой воды).

В российских условиях бесконтактная автоматическая мойка никогда не даст такого же результата качества мойки, как автоматическая мойка со щетками. Качество мойки будет очень сильно зависеть от применяемых химических реагентов, но даже лучшие реагенты не смогут обеспечить качество, аналогичное щеточным мойкам. Поэтому более рационально использовать струйно-щеточные автоматические установки. Также для обеспечения максимального качества мойки необходимо осуществлять подогрев воды и использовать реагенты для «смягчения» воды.

Все типы моечных установок по своей конструкции отвечают общепринятому наиболее рациональному технологическому процессу мойки автомобилей [3].

На рисунке 1 представлены все этапы мойки автомобиля.

Предварительная обработка. После въезда машины на мойку, на ее поверхность наносится жидкое вспененное щелочное моющее средство.

Нанесение моющего средства и обработка под давлением. Затем повторно наносится вспененное смачивающее моющее средство с низким  $pH$  непосредственно перед первым компонентом фрикционной мойки. Одновременно с этим на колеса и шины наносится неокислительный растворитель. Это тоже жидкое вспененное моющее средство, которое наносится через две напольных установки с каждой стороны, расположенных на расстоянии одного метра. Все смывается водой под высоким давлением, чтобы на автомобиле не оставалось мелких частиц.

Фрикционный блок мойки. На следующем этапе машина попадает в блок фрикционной мойки. На въезде в этот блок на автомобиль наносится трехцветная пена, ко-

торая выполняет две функции: дает возможность фрикционным материалам плавно двигаться по поверхности машины, мойка становится более щадящей и придает кузову дополнительный блеск.

Мойка под высоким давлением. После правильного нанесения нужного количества моющих средств с высоким и низким  $pH$  проходит достаточно времени, чтобы разорвать сцепление дорожной грязи и краски. Действие фрикционных материалов помогает нанести моющее средство во все углубления и щели. Система мойки под высоким давлением легко удаляет грязь. Очень важно тщательно смыть все щелочные средства. Любые его остатки мешают процессу ополаскивания и сушки.

Полное ополаскивание. Первичная сушка машины осуществляется при ополаскивании: наносится вещество для сушки и проникающая полироль, которые затем смываются чистой водой. У этого этапа две задачи: удалить с поверхности автомобиля, зеркал и всех углублений моющее средство, чтобы оно не проступило при сушке; собрать воду в капли, чтобы она быстрее стекала.

На ополаскивание — как и на все остальное на автоматической мойке — сильно влияет скорость конвейера и качество воды. Средство для смягчения воды и различное оборудование поможет решить проблемы с пятнами от капель воды.

Сушка. Мощная система сушки совмещает сопла различного типа для большего эффекта и меньшей платы за электроэнергию.

Выполнение всех операций при мойке автомобиля, в зависимости от его типа, занимает от 4 до 6 мин (рисунок 2).

По результатам обзора технической литературы была разработана принципиальная гидравлическая схема автоматической конвейерной мойки (рисунок 3). Она представляет собой замкнутую систему рециркуляции воды.

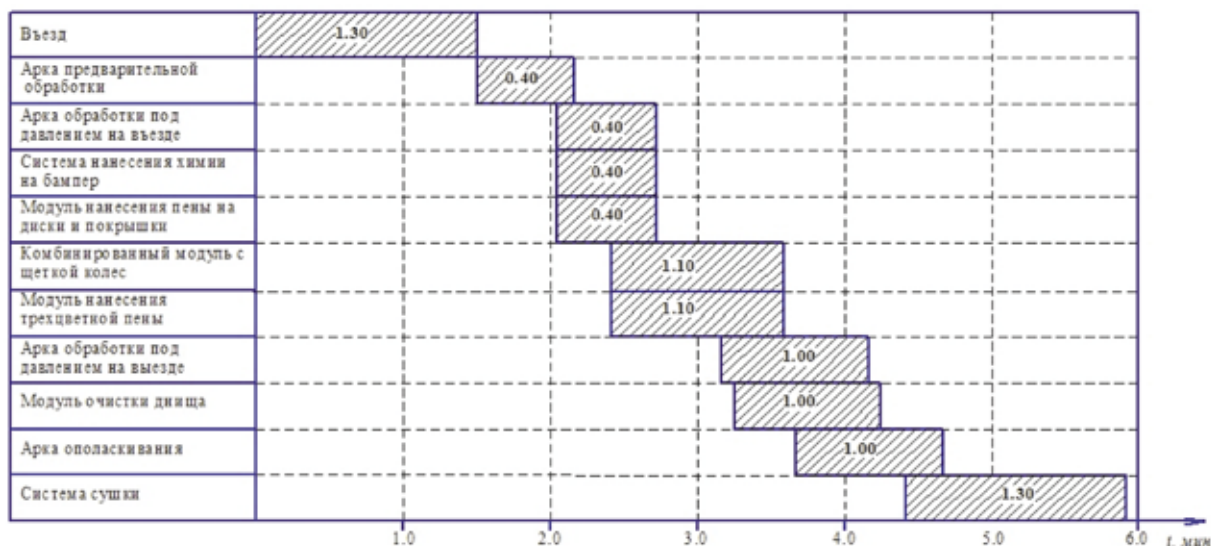


Рис. 2. Диаграмма времени мойки одного автомобиля

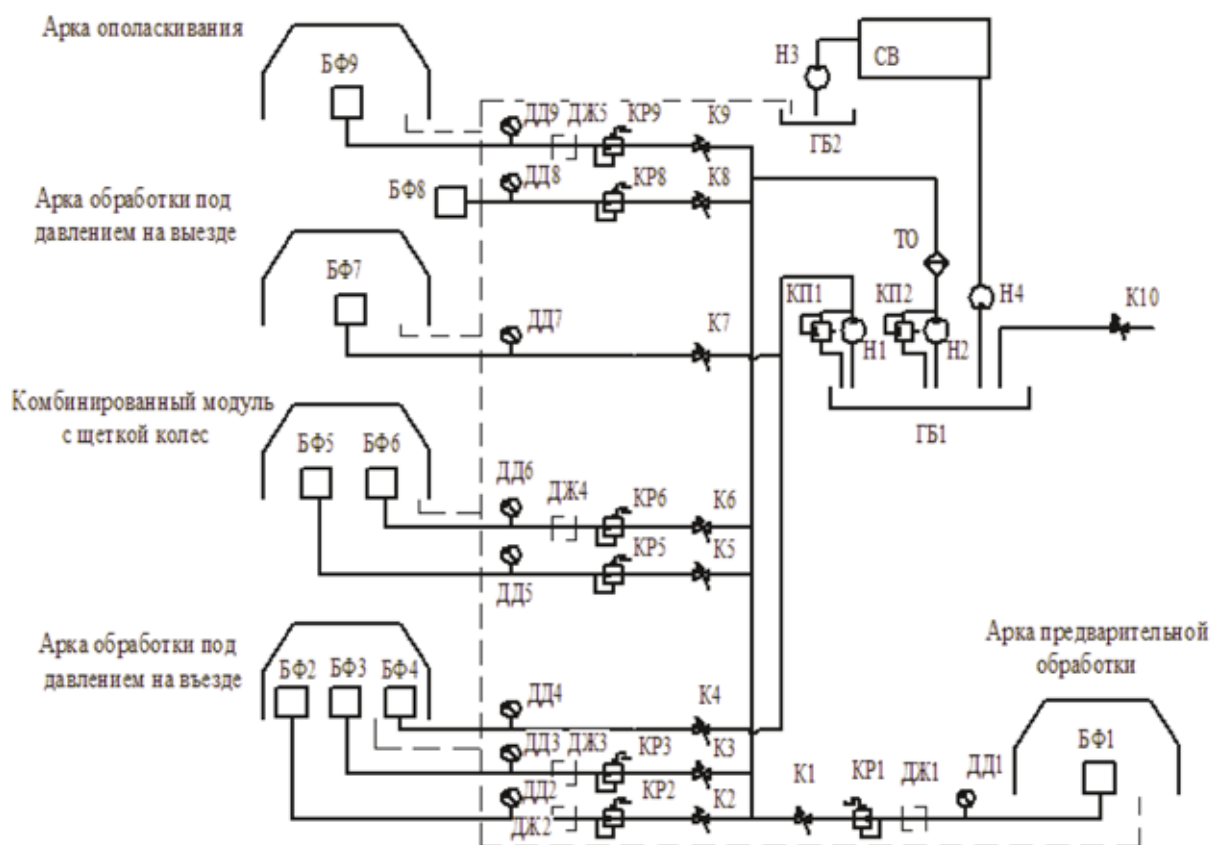


Рис. 3. Принципиальная гидравлическая схема автоматической конвейерной мойки

Из открытого гидробака (ГБ1) многоступенчатый центробежный насос (Н1) с номинальным давлением 4,7 МПа подает чистую воду в четвертый и седьмой контуры на арки обработки под высоким давлением, а центробежный насос (Н2) с номинальным давлением 0,9 МПа качает воду в первый, второй, третий, пятый, шестой, восьмой и девятый контуры. Необходимо поста-

вить предохранительный клапан (КП1, КП2) после насоса (Н1, Н2).

Автомобиль проходит все стадии мойки последовательно, поэтому моющая жидкость должна подаваться на все арки поэтапно, но так как в мойке может находиться несколько автомобилей, то возникает необходимость одновременной работы нескольких гидролиний. Для этого



на каждой гидравлической линии стоит регулируемый электроуправляемый кран (К1, К2, К3, К4, К5, К6, К7, К8, К9) с автоматическим включением и выключением подачи воды на конкретную арку. Также на первом, втором, третьем, пятом, шестом, восьмом, девятом контурах необходимо подавать воду с разным давлением исходя из технологического назначения арки. Это обеспечивается редукционным клапаном (КР1, КР2, КР3, КР5, КР6, КР8, КР9) и контролируется датчиком давления (ДД1, ДД2, ДД3, ДД4, ДД5, ДД6, ДД7, ДД8, ДД9). На четвертом и седьмом контурах многоступенчатый центробежный насос (Н1) обеспечивает подачу моющей жидкости под давлением, необходимым для арки обработки автомобиля под высоким давлением. На первом, втором, третьем, шестом, девятом контурах установлены дозаторы (ДЖ1, ДЖ2, ДЖ3, ДЖ4, ДЖ5), в которых находятся щелочные химикаты.

### Литература

1. Туннельные мойки высокой производительности. Электронный ресурс. — Режим доступа: <http://tommycarwash.com/theprogram/tt.htm>.
2. Современная АЗС, июнь 2007. Электронный ресурс. — Режим доступа: [http://avidenterprises.ru/titles\\_avik.htm](http://avidenterprises.ru/titles_avik.htm). — Имеется печатный аналог.
3. Гибридные туннели. Электронный ресурс. — Режим доступа: <http://www.bestwash.ru/resources/>.

## Актуальность 2D алгоритмов в определенных задачах автоматического распознавания человека

Рожков М.М., аспирант  
Владимирский государственный университет

Задач, в которых применяется тот или иной метод автоматического распознавания человека, на сегодняшний день много. Здесь и идентификация человека, и аутентификация, различные системы контроля доступа, системы, анализирующие большие скопления людей и т.д. Задач много. Каждая из них имеет свою специфику, свои требования на надежность распознавания, на дальность действия, на скорость работы, на целевые объекты. Ведь даже то обстоятельство, хочет ли объект (человек в данном случае), чтобы система его опознала, или ему все равно, или он не хочет — может серьезно повлиять на качество работы того или иного алгоритма в определенной ситуации.

Научное сообщество все более пристальное внимание уделяет алгоритмам, базирующимся на построении трехмерной модели человеческого лица — 3D алгоритмам. Как показывают эксперименты российских и зарубежных компаний и исследователей [3], [5], [2], 3D алгоритмы могут более точно распознавать человека. Кроме того, ощутимым плюсом таких алгоритмов является использование ими структурированной инфракрасной подсветки. Это обстоятельство делает алгоритмы нечувствительными к условиям освещенности.

После мойки автомобиля отработанная вода поступает в гидробак сточных вод (ГБ2), откуда она откачивается дренажным погружным центробежным насосом (Н3) в систему водоочистки (СВ). Затем из СВ 85% очищенной воды попадает в резервуар с чистой водой (ГБ1). Для восполнения потерь воды после очистки к гидробаку (ГБ1) подводится водопроводная труба. Подача чистой воды регулируется автоматическим краном КР10.

В заключении стоит отметить, что мойка автомобиля нужна не только с эстетической точки зрения. Она действительно способна продлить жизнь автомобилю — грязь снижает жизнеспособность многих деталей и узлов. Конвейерная мойка не только позволяет обеспечить высокое качество мытья, минимальное вмешательство человека, широкий выбор программ мытья автомобиля и высокую скорость обслуживания, но и способствует улучшению экологической ситуации в крупных городах.

Системы трехмерного распознавания, построенные с применением нескольких камер высокого разрешения (например [5]), создают в памяти системы трехмерный образ лица человека для того, чтобы его можно было «повернуть» в нужный ракурс — для обеспечения наилучших условий для двумерного распознавания.

Однако 3D алгоритмы более требовательны к входным данным. Для распознавания им, как правило, требуется наличие трехмерной модели в базе. Ведь именно трехмерная модель лица человека в базе позволяет 3D алгоритмам достигать высоких показателей точности распознавания. И сегодня такие системы развиваются в сторону повышения качества создания трехмерных моделей как для помещения их в базу, так и в качестве предъявляемых для сравнения.

Например, в рамках конкурса Национального института стандартов и технологий США Face Recognition Vendor Test (FRVT-2006) были получены любопытные результаты возможностей трехмерных алгоритмов. Была отмечена способность 3D-идентификации к выделению отличительных черт в поверхности лица человека. Например, характерных трехмерных кривых для линии глазниц, носа, подбородка, где ткани и кости выступают

наиболее очевидно и почти не меняют форму со временем [4].

Еще одной особенностью систем, построенных на базе 3D распознавания в том, что человек должен быть достаточно близок к устройству сканирования и должен некоторое время оставаться неподвижным. Например, в системе A4Vision дальность, при которой обеспечивается надежная работа системы, составляет 1,5 метра [3]. Кроме того объект должен хотеть, чтобы система распознала его. И должен приложить некоторые усилия, например — посмотреть на небольшое зеркало, «застыть» на секунду и т.д.

Итак, основными недостатками 3D алгоритмов распознавания на сегодняшний день являются:

- ограниченная дальность действия;
- для надежного распознавания, как правило, объекты в базе должны быть достаточно хорошо известны системе (желательно, чтобы эти объекты были непосредственно представлены системе — для создания 3D-модели);
- необходимость заинтересованности объекта в том, чтобы система распознала его.

Ограниченная дальность всегда будет являться тем критерием, по которому 3D алгоритмы будут проигрывать двумерным. Двумерные алгоритмы менее критичны к разрешению камер наблюдения. Следовательно, при использовании одинаковой аппаратуры двумерные алгоритмы будут иметь заведомо больший радиус действия. Двумерные алгоритмы можно использовать за горизонтом применимости трехмерных.

Если объект достаточно удален от камер, если он находится среди большого количества людей и при этом движется, то 3D алгоритмы в таких случаях крайне затруднительно применять. Однако 2D алгоритмы, вполне могут работать в таких условиях. На общей фотографии выделить лицо. А затем обработать и попытаться идентифицировать человека.

Наличие в базе 3D алгоритмов трехмерных моделей лиц также не всегда возможно. Иногда необходимо идентифицировать человека, имея в наличии лишь его фотографию. Да и то зачастую невысокого качества. В таких случаях использовать 3D алгоритмы не представляется целесообразным: все их преимущества сходят на нет. И в таких случаях 2D алгоритмы, специально предназначенные для сравнения фотографий, будут в более выигрышной позиции.

Что же касается необходимости заинтересованности

объекта в распознании, то оно вполне уместно в системах аутентификации. Когда человеку необходимо подтвердить свои полномочия — для доступа к чему либо. В таких системах можно потребовать от человека, чтобы он повернул лицо строго фронтально, можно обеспечить достаточную освещенность и т.д. А как быть, если человек не хочет помогать системам распознавания? Если такие системы призваны выявлять, к примеру, преступников среди множества людей в общественных местах? Если необходимо обеспечить независимость системы от желаний объекта «сотрудничать»?

Как заявляют сами разработчики из A4Vision, современный уровень развития технологии распознавания лиц позволяет ей работать только с объектами, заинтересованными в том, чтобы лицо было распознано системой. А вот технологии распознавания лиц, которая эффективно работала бы без согласия человека и незаметно для него до сих пор нет [3].

В ряде публикаций, посвященных распознаванию человека, рассматривается концепция так называемого «ненавязчивого распознавания». «Технологии для интеллектуальной среды не должны быть навязчивыми и должны предоставлять пользователю свободу действий» [1].

То есть технологии распознавания должны действовать незаметно для человека, не создавая ему помех. Почему так? Во-первых, потому что это даст толчок широкому распространению таковых технологий. Это будет удобно и необременительно для человека. Во-вторых, потому что именно так и распознает один человек другого человека. Общаясь, люди не сканируют сетчатку друг друга, не рассчитывают межглазовое расстояние. Они распознают друг друга легко и непринужденно.

Подведем итоги. 2D алгоритмы распознавания человека по лицу до сих пор весьма актуальны. Они, безусловно, могут проигрывать трехмерным алгоритмам по точности распознавания, однако они не исчерпали полностью своих возможностей. Кроме того, в определенных задачах они имеют ряд бесспорных преимуществ перед 3D алгоритмами:

- они имеют большую дальность применения;
- они менее требовательны к входным данным, могут работать с фотографиями невысокого качества;
- они менее требовательны к вычислительным ресурсам;
- они ненавязчивы и незаметны, не требуют от объекта каких-то специальных действий.

## Литература

1. А.Пентланд, Т.Чаудхари. Распознавание лиц для интеллектуальных сред. <http://www.osp.ru/os/2000/03/177939/>
2. Ш.Панканти, Р.М.Болле, Э.Джейн. Биометрия: будущее идентификации. IEEE Computer, February 2000, pp. 46-49 <http://www.osp.ru/os/2000/03/177933/>
3. Технология трехмерного распознавания лиц. <http://www.procctv.ru/page.php?id=450>
4. К.Берд. Лица, подлежащие опознанию. Опубликовано 07 ноября 2007. <http://www.computerra.ru/magazine/338239/>
5. VOCORD FaceControl. Система не Kooperативного выделения и распознавания лиц. <http://www.vocord.ru/493/>

## Подготовка семян хлопчатника и технология сева

Розметов К.С., кандидат сельскохозяйственных наук  
Туркменский сельскохозяйственный университет

*On result of long-term researches zones satisfying to conditions ways of preparation of seeds, optimum technology of the sowing are developed and scientifically proved, allowing to receive the high-grade early shoots reducing expenses of seeds and manual skills on reductions of shoots, promoting clap increase — a raw with the best technological properties of a fibre. Concrete optimum ways of preparation of seeds and technology of their sowing are offered manufacture.*

*Обеспечение продовольственной безопасности страны считается одним из важнейших условий сохранения суверенитета, экономического развития и социальной стабильности государства. Исходя из такой стратегии, достижение продовольственной безопасности Туркменистана тесно связано с увеличением производства как зерновых культур, так и хлопчатника — важнейших стратегических культур.*

В последние годы благодаря созданию новых машин и механизмов многие основные процессы возделывания хлопчатника механизированы. Однако до сих пор на значительной части площадей сев хлопчатника в республике осуществляется рядовым опушениями семенами. Норма расхода семян в республиках хлопковой зоны составляет, как правило 120–130 кг/га. На прореживание посевов затрачивается в год 1,5–1,8 млн.чел.-дней. К тому же по времени оно совпадает с другой важной и трудоемкой работой — выкормкой тутового шелкопряда. Поэтому многие хозяйства прореживание проводят с опозданием, что отрицательно влияет на развитие растений, следовательно, урожай.

Результаты исследований научных учреждений и практика передовых хлопкосеющих хозяйств показали, что прореживание может быть исключено только при коренном изменении технологии сева хлопчатника — проведения сева ограниченным. Опушенные семена, подготовливаемые на хлопзаводах к посеву, при существующей технологии заводского оборудования не удовлетворяют перечисленным требованиям.

После джинирования и линтерирования на них остается еще много подпушка (8-9% от массы семян), который представляет собой плотное войлочное сплетения коротких волокон, покрытых восковым веществом. Такие семена перед севом необходимо увлажнять или замачивать в воде на специально оборудованных пунктах. Кроме того, подпушек не дает возможности сортировать семена по размерам. А самое главное, существующие конструкции сеялок не могут высевать заданное число опушенных семян. Используемый в настоящее время довольно широко в условиях производства частогнездовой способ уменьшает норму высева семян до 50-60 кг/га, сокращает затраты труда на прореживание на 40-50%, но не исключает этот процесс. Высев ограниченного количества семян в гнезде и загнивание их в неблагоприятные весны привело ученых к убеждению о необходимости улучшения качества посевных семян и защиты их от почвенных патогенов, возбудителей гомоза, сосущих и других вредителей. Сразу по нескольким параметрам улучшается структура почвы. В ней возрастает

содержание гумуса и активизируется жизнедеятельность земляных червей, в результате чего она становится более рыхлой и не закупоривается после дождей и полива. Некоторые мульчирующие вещества, например, хорошо перепревший навоз и садовый компост, обеспечивают растения дополнительным питанием. Однако, полностью заменять мульчированием внесение удобрений нецелесообразно, так как растения будут ощущать недостаток питательных веществ.

Мульчу укладывают на приствольный круг слоем до 10 см, через год-два её заделывают в почву. Существует мнение, что при недостатке навоза его лучше использовать для мульчирования приствольных кругов после посадки саженцев, а не для внесения в посадочную яму. Для мульчирования используют также чёрную полихлорвиниловую плёнку. Ею покрывают приствольный круг в радиусе 1м. Внешние края плёнки укладывают в бороздки глубиной 10-12 см и засыпают почвой. На плёнке не делают никаких отверстий, так как влага поступает под неё из окружающего слоя почвы. При таком мульчировании отпадает необходимость в прополке, сорняки удаляются только по краю плёнки. Однако плёнка плохо защищает корни растений от морозов в бесснежные зимы. В морозную погоду при обрезке кроны не следует наступать на плёнку, т. к. она легко может порваться. В связи со сказанным вполне актуальной явилась проблема изучения эффективности точного сева в зависимости от способом предпосевной подготовки семян хлопчатника и мульчирования применительно к одной из старейших и крупнейших областей хлопкосеяния Туркмении — Дашогузской зоне гидроморфных засоленных почв.

Цель исследования явилась, разработать научно обоснованные технологии сева хлопчатника семенами различного способа подготовки, способствующие экономии посевного материала, ускорению появления всходов, снижению расходов на прореживание и повышению урожая хлопка — сырца. Для решения этих вопросов необходимо было изучить: энергию прорастания и всхожесть семян различных способов подготовки; динамику появления всходов хлопчатника в зависимости от способов подготовки семян и технологии сева; распределения растений

по гнездам и густоту всходов; влияния мульчирования на мощность почвенной корки; рост и развитие хлопчатника; влияния различных способов подготовки семян и технологии сева на образование сухой массы хлопчатника; урожай хлопка — сырца в зависимости от способов подготовки семян и технологии сева; технологические свойства волокна; экономическую эффективность различных способов подготовки семян и технологии сева, а также мульчирования поверхности почвы навозом-сырцом.

### Литература

1. Розметов, К.С. Мульчирование //Агропромышленный комплекс Туркменистана. 1988. №4.
2. Розметов, К.С. Дrajирование семян эффективный способ получения дружных всходов хлопчатника // Информационный листок ТуркменНИНТИ, 1987. №229.
3. Розметов, К.С. Точный сев хлопчатника // Сельское хозяйство Туркменистана. 1987. №11. с.19-20.

## Эффективность предпосевной обработки семян хлопчатника

Розметов К.С., кандидат сельскохозяйственных наук  
Туркменский сельскохозяйственный университет

*Use of exact sowing of a cotton in the conditions of the meadow salted soils of the Dashoguzsky zone clap manufacture promotes economy of sowing seeds, irrespective of a way of their preparation to 3 and more times, in comparison with ordinary way of sowing. Results of researches on effective way of preseeding preparation of seeds and technologies of sowing of a cotton in the conditions of meadow soils of the bottom current of Amu-Dari are introduced in Dashoguzsky area on the area of 60 thousand in hectare.*

**В**повышении урожайности хлопчатника немаловажную роль играют посевные качества семян и способы их подготовку к севу.

При оценке посевных достоинств семян того или иного способа подготовки, наряду с показателями энергии прорастания и лабораторной всхожести, большое значение имеет характеристика их по способности набухать. Это особенно важно при точном севе, когда семена высевается сухими. При изучении скорости набухания семян хлопчатника установлено, что поступление воды в них тесно связано со степенью оголения.

В настоящее время широко распространенными способами делинтерования семян являются химический и механический.

Химическое делинтерование производится парами неорганических кислот: азотной, серной и соляной. Однако вследствие большого расхода кислоты (200г на 1кг семян), выделения при обработке ядовитых окислов и сильного разрушаемого действия кислотой технологического оборудования этот способ подготовки семян не вышел за рамки эксперимента.

Семена, делинтированные аэрохимическим способом, проходят калибровально — сортировальную машину КСМ-1.5, которая отбирает посевную фракцию (около 70% всех семян). Откалиброванные и отсортированные семена поступают в дражировальную машину 20СХ, в ко-

По результатом многолетних исследований разработаны и научно обоснованы удовлетворяющие условиям зоны способы подготовки семян, оптимальная технология сева, позволяющие получать полноценные ранние всходы, уменьшающие затраты семян и ручного труда на прорастания всходов, способствующие увеличению хлопка — сырца с лучшими технологическими свойствами волокна. Производству предложены конкретные оптимальные способы подготовки семян и технология их сева [2,3].

торой они покрываются прилипателем и обкатываются защитными от корневой гнили препаратами — фунгицидами. Наибольшее применение аэрохимический способ деления семян нашел в хлопководстве Узбекистане.

Делинтерование механическим способом впервые применяли за рубежом с целью получения с технических семян делинта, как сырья для целлюлозной промышленности. Вследствие неудовлетворительных результатов поиски механического способа делинтерования посевных хлопковых семян были надолго прекращены.

Машина СОМ-4 прошла начальные опытные и производственные испытания, в результате которых было установлено, что по сравнению с предшествующими машинами она дает более удовлетворительные показатели, как по эксплуатационным качествам, так и по требованиям, предъявляемым и делинтерованным семенам при севе их заданным числом сеялки точного посева.

Поиски усовершенствования химического оголения и механического делинтерования, улучшения защиты оголенных семян от корневой гнили, гомоза и других неблагоприятных факторов практически не останавливались.

Параллельно с конструированием установок по делению проводились разработки улучшения посевных качеств оголенных и опущенных семян путем их покрытия различными материалами. Обеспечение высокой полевой всхожести семян еще не гарантирует получение высокой



урожайности хлопчатника. Не меньшее, скорее большее значение имеет правильный выбор сорта для конкретных условий выращивания, тем более, что жизнь не стоит на месте и постоянно появляются новые сорта.

Они часто превосходят своих предшественников по урожайности, устойчивости к болезням, соответствию конкретной зоне страны и другим показателям. В связи с этим нами проведено сортоиспытание целой серии новых сортов хлопчатника.

Исследования проведены согласно тематическому плану СоюзНИХИ на 1984-1986 гг. Полевые эксперименты ежегодно проверялись апробационной комиссией ТНИИЗ и СоюзНИХИ. По материалам экспериментов ежегодно составлялись научные отчеты.

Использование точного сева хлопчатника в условиях луговых засоленных почв Дашогузской зоны хлопкосе-

яния способствует экономии посевных семян, независимо от способа их подготовки до 3 и более раз, по сравнению с рядовым способом сева. Результаты исследований по эффективному способу предпосевной подготовки семян и технологии сева хлопчатника в условиях луговых почв нижнего течения Аму-Дарьи внедрены в Дашогузский велаят на площади 60 тыс.га [1,2,3].

По результатам многолетних исследований разработаны и научно обоснованы удовлетворявшие условиям зоны способы подготовки семян, оптимальная технология сева, позволяющие получать полноценные ранние всходы, уменьшающие затраты семян и ручного труда на прорезывания всходов, способствующие увеличению хлопка — сырца с лучшими технологическими свойствами волокна. Производству предложены конкретные оптимальные способы подготовки семян и технология их сева.

### Литература

1. Розметов, К.С. Точный сев хлопчатника // Сельское хозяйство Туркменистана. 1987. №11. с.19-20.
2. Розметов, К.С. Мульчирование //Агропромышленный комплекс Туркменистана. 1988. №4
3. Розметов, К.С. Дожирование семян эффективный способ получения дружных всходов хлопчатника // Информационный листок ТуркменНИНТИ, 1987. №229

## Компонентно-безъядерная архитектура операционной системы

Симоненко Д.Н., аспирант

Московский государственный университет экономики

**К**омпонентно-безъядерная архитектура является техническим решением, разработанным и примененным нами при проектировании и реализации операционной системы *Outra*.

*Outra* является специализированной операционной системой, жесткого масштаба времени, реализующая расширенную функциональность устройств сетевой коммутации и маршрутизации. Другими словами, назначение этой операционной системы заключается в специализированной, высокопроизводительной обработке операций свойственных сетевым маршрутизаторам, коммутатором и другим сетевым элементам.

Учитывая специализированный характер данной системы, для нее была разработана уникальная архитектура, которая в полной мере поддерживает преимущества расширяемости, максимальной скорости выполнения при этом обеспечивая простое сопровождение системы. В данной статье обобщен опыт наиболее интересных деталей архитектуры.

Архитектура ОС *Outra* имеет объектно-ориентированную природу и по сути, является дальнейшим развитием монолитной и микроядерных архитектур. Архитектура ОС получила название Компонентно-безъядерной.

Современная тенденция развития монолитной (как и микроядерных архитектур), расширяется до понятия мо-

дульного ядра, за счет внедрения поддержки динамически загружаемых модулей. Такой подход, позволяет размещать некоторые части ядра (например, различные драйверы), в отдельных модулях, которые могут быть динамически загружены/выгружены во время работы системы. Это достигается за счет размещения в ядре специальной модульной подсистемы, включающей в себя редактор связей.

Идея компонентно-безъядерной архитектуры заключается в том, что модульная подсистема, примерно аналогичная модульному ядру, переносится целиком в фундамент системы, в специальный загрузчик. Таким образом компонентно-безъядерная архитектура не предполагает конкретного ядра операционной системы, как это сделано в монолитной или микроядерной архитектуре (см. рис. 1).

Вместо этого, вся функциональность системы разбивается на независимые модули. Помимо этого, такой подход расширяется до объектных абстракций. Архитектура является безъядерной, так как не предусматривает никаких механизмов планирования, обработки базовых механизмов прерываний и исключений, в сравнении с архитектурами, содержащими ядро. Вся подобная функциональность реализуется модулями самой системы, на её усмотрение.



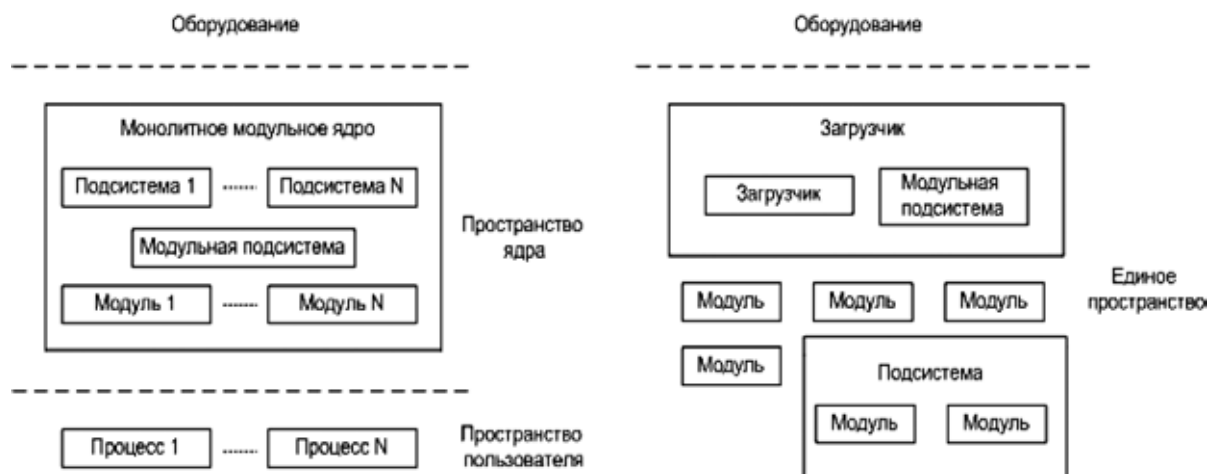


Рис. 1. Сравнение монолитно-модульной и компонентно-безъядерной архитектур

Каждый модуль системы экспортирует классы, которые включают в себя определенные классом методы. Каждый класс, в свою очередь, находится в определенном пространстве имен, чтобы организовать лучшее и функциональное разбиение на функции и избежать возможных коллизий имен классов.

Таким образом, вся система разбивается на модули с жестко определенными методами, что позволяет реализовать некоторое подмножество объектно ориентированного подхода, в частности инкапсуляцию и даже полиморфизм который может быть реализован путем создания виртуальных методов.

Данная архитектура реализуется путем добавления некоторых дополнительных элементов на этапе загрузки. Рассмотрим этот процесс подробнее на примере реали-

зации загрузки операционной системы Outra (для архитектуры IBM PC) (см. рис. 2).

При запуске компьютера BIOS считывает (при условии загрузки с жесткого диска) первый сектор загрузочного диска, который называется MBR (главная загрузочная запись). Этот сектор содержит минимальную программу загрузки вместе с таблицей разделов жесткого диска. Эта программа определяет (обычно активный, или интерактивно) раздел для дальнейшей загрузки. После выбора раздела загрузки, считывается первый сектор этого раздела, который представляет вторичную программу загрузки **boot**. В отношении операционной системы outra, этот загрузчик знает размеры (они подсчитываются и записываются непосредственно во вторичный загрузчик после сборки системы) третьего загрузчика. После за-

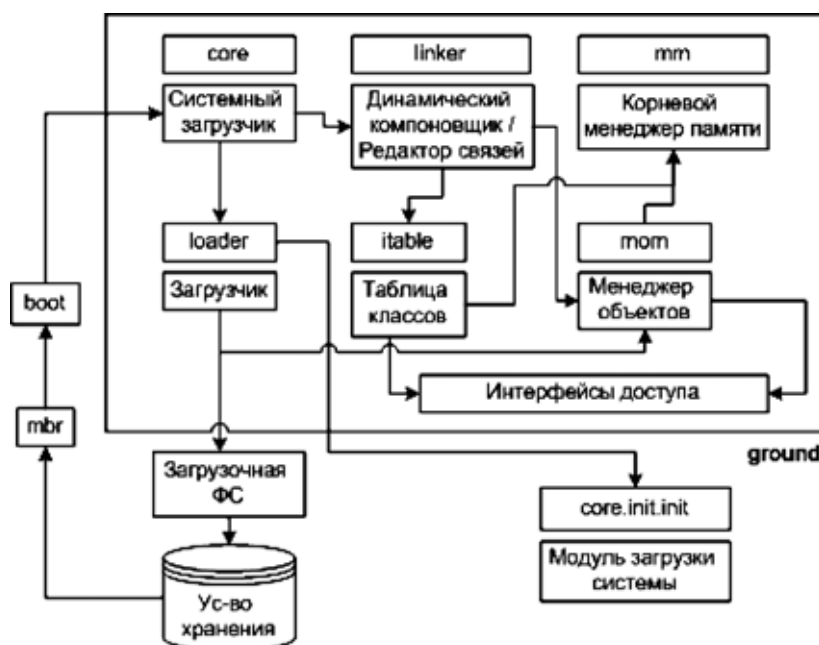


Рис. 2. Загрузчик ОС Outra

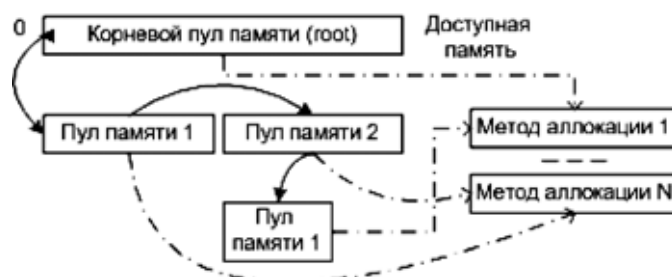


Рис. 3. Организация менеджера памяти

грузки с диска в память, вторичный загрузчик передает управление третьему загрузчику.

Третий загрузчик является основным загрузчиком в системе, который уже непосредственно занимается загрузкой самой операционной системы. В отношении операционной системы *outra* и специфики её архитектуры, он имеет важное значение. Загрузчик представляет из себя фундамент всей архитектуры (в операционной системе *outra* он называется **ground**). Давайте рассмотрим процесс дальнейшей загрузки и важные составляющие загрузчика.

На начальном этапе работа загрузчика начинается с модуля **core** который же и отвечает за дальнейшую координацию работы. Первым делом он инициализирует контроллер прерываний и консоль, далее инициализируется корневого менеджер памяти.

Задачей корневого менеджера памяти (**mm**) (как и вообще менеджера памяти) является корректный учет использования диапазонов памяти, то есть операции выделения и освобождения блоков и диапазонов памяти (см. рис. 3). При этом должны учитываться функциональные особенности, при которых работа менеджера памяти должна осуществляться. Например, в системах массового обслуживания, сетевой подсистеме, учет и выделение новых пакетов данных должен осуществляться максимально быстро, нежели чем в других, менее зависимых от времени задачах. Поэтому, важно иметь возможность выбора необходимого метода, алгоритма выделения/освобождения памяти, который бы наиболее подходящим образом соответствовал специфике поставленной задачи. Другими словами политики, и способов специализированного управления ресурсами (эта проблема рассматривалась выше).

В данной реализации менеджера памяти, такие важные и популярные механизмы, как виртуальная память и вторичная память не используются. Этот выбор объясняется спецификой поставленной задачи системной архитектуры и поставленной задачи, ввиду накладных расходов вычислительных ресурсов в пользу повышения производительности.

В функциональном плане, данная архитектура менеджера памяти имеет следующую архитектуру. Менеджер памяти позволяет организовать учет многоуровневых пулов (диапазонов) памяти с независимыми методами учета, выделения и освобождения памяти.

При инициализации менеджера памяти создается единственный корневого пул памяти (**root**), пределом, которого ставится размер доступной физической памяти, которая также определяется при инициализации.

Пулы памяти организуются таким образом, чтобы можно было организовать любое множество (ограниченное доступной пулу памяти), вложенных пулов, которые в свою очередь также могут содержать пулы памяти, и так далее. С каждым пулом памяти ассоциирован (через общий, абстрактный интерфейс) определенный метод аллокации, который может быть специализированным (то есть, создан под конкретные нужды приложения, или подсистемы). Корневая природа менеджера памяти, означает, то что, обычно, для исключения дублирования функциональности, создается вторичный менеджер памяти (в самой системе), который использует и расширяет функциональность корневого менеджера памяти.

После инициализации корневого менеджера памяти, инициализируется менеджер объектов (**mom**). В задачи менеджера объектов, непосредственно входит учет системных модулей, выделение памяти, и операции выгрузки модулей (включая анализ зависимостей между различными модулями).

Далее управление передается загрузчику (**loader**). В его обязанности входит непосредственно загрузка модулей с диска (или другого устройства хранения) в память.

После создания системы, на этапе сборки, модули формируются в специальную загрузочную файловую систему **orofs** (Outra object filesystem) (см. рис. 4). Она имеет достаточно простую, последовательную структуру, состоящую из суперблока, который содержит информацию о размере, количестве блоков, каталога модулей, содержащего названия, тип, размер и указатель на данные, и собственно самих данные, распределенных по блокам.

Загрузчик анализирует каталог модулей, и последовательно выделяет память (с помощью менеджера объектов, где модули также регистрируются), копирует модули с диска в память (используя драйвер для доступа к устройству хранения).

Следующим инициализируемым элементом является таблица классов (**itable**). Таблица классов необходима для учета пространств имен, классов и ассоциированных методов, анализа зависимостей, и т.п.

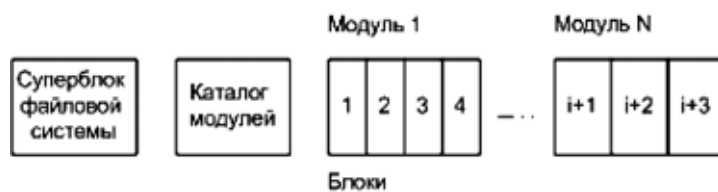


Рис. 4. Организация менеджера памяти

Важным элементом общей системы загрузки является специальный *динамический компоновщик* или *редактор связей* (*linker*). Он анализирует каталог загруженных модулей, экспортируемый менеджером объектов, для анализа самих модулей и составляет таблицу пространств имен, классов и методов системы.

Модули в компонентно-безъядерной архитектуре, в данной реализации, представляют из себя бинарные модули, соответствующие стандарту ELF и являющиеся компоновемыми объектами (то есть обязательно содержащие таблицы релокации). Например, такие модули легко получаются, после обычной компиляции исходного кода, компилятором (gcc-c).

Редактор связей анализирует символьную таблицу каждого из модулей и вызывает соответствующие функции из таблицы классов, для регистрации объявленных пространств имен, классов и методов.

Методы объявляются очень просто, с помощью соответствующего именования методов в исходном коде, для чего (специально для языка Си) используется специальные макросы. Например, для объявления метода **printf** в пространстве имен **lib** и классе **c**, достаточно объявить функцию следующим образом:

```
INTERFACE(lib, c, printf)(const char *  
format, ...) { }
```

Чтобы получить доступ к объявленному методу, другие модули могут его просто вызвать, путем записи:

```
METHOD(lib, c, printf)("Hello World");
```

После анализа методов, редактор связей, используя таблицы релокации модулей, анализирует зависимости разных модулей. Также, модулям, кроме интерфейсных вызовов (то есть вида METHOD(a, b, c)), запрещается оставлять внешние ссылки. Таким образом, достигается строгая инкапсуляция. Помимо специализированных и расширенных свойств, функциональность редактора связей во многом аналогична редактору связей в компиляторе.

Система загрузки дает возможность импортировать модулям некоторые интерфейсы для доступа к таблице классов, менеджеру объектов, менеджеру памяти, итп. Делается это, через описанный выше механизм вызовов методов. Такой подход предоставляет независимым модулям, легко получать доступ к структуре всей операционной системы, анализировать пространства имен и классов на свое усмотрение. После работы компоновщика, управление передается специальному методу *core.init*, который должен вести дальнейшую загрузку всей системы (также как и её остановку).

Загрузчик реализован таким образом, чтобы, как сам загрузчик, так и система были полностью независимы друг от друга, поддерживая общую идеологию объектного подхода.

Для поддержки и сопровождения этой архитектуры, в операционной системе *outra* была создана специальная система сборки. Её работа заключается в создании зависимостей между отдельными множествами модулей. Сначала, в специальном конфигурационном файле описываются модули, которые должны быть включены в систему, для этого используется несложный язык описания. Далее, для каждого декларированного модуля, рекурсивно проверяются зависимости других модулей, итп. В конечном итоге создаются файлы сборки (*Makefile's*), соответствующие текущим параметрам создаваемой системы.

### Заключение

Преимуществами данной архитектуры можно назвать, *во-первых*, необычайно простое сопровождение данной системы, что достигается за счет четкого формального разделения на модули, с жестко определенными интерфейсами, реализуя инкапсуляцию. *Во-вторых*, система «знает» о своей структурной организации, поэтому может легко использовать эту информацию для собственной интерпретации структуры.

Например, для реализации подобной особенности в монолитной архитектуре, пришлось бы создавать более сложные и комплексные средства. *В-третьих*, эта архитектура (и система) позволяют выгружать во время выполнения модули вплоть до целых подсистем, вне зависимости от их назначения (что также используется для динамически загружаемых задач), что опять же позволяет упростить структуру системы построенной на этой архитектуре. И *в четвертых*, преимуществом является скорость работы, несмотря на такое комплексное разделение структуры — производительность этой архитектуры аналогична монолитной (и естественно многократно выше, учитывая специализированный характер системы, отсутствие защиты mmi и виртуальной памяти).

На основе идей компонентно-безъядерной архитектуры и полученного опыта, была развита концепция единой отказоустойчивой среды выполнения [1]. Создан специализированный язык программирования и среда выполнения [2]. В настоящее время происходит адаптация новых подходов к современным требованиям и их аппробация.

**Литература**

1. Симоненко Д.Н. «Концепция единой отказоустойчивой среды выполнения» // Сборник научных трудов НТЦ РУП МЭСИ №6
2. Симоненко Д.Н. «Архитектура и реализация единой отказоустойчивой среды выполнения.» // Сборник научных трудов НТЦ РУП МЭСИ №6

**Современные подходы к повышению отказоустойчивости операционных систем**

Симоненко Д.Н., аспирант

Московский государственный университет экономики

Современные операционные системы до сих пор опираются на архитектурные принципы и решения, заложенные еще в начале своего развития.

В то время их выбор был обоснован состоянием развития вычислительных машин и их стоимостью, в пользу обеспечения максимальной эффективности и плотности реализации, уменьшения любых накладных вычислительных расходов.

В настоящее время ситуация значительно изменилась, но по-прежнему используются принципы, которые уже не являются адекватными по отношению к текущему состоянию развития. Прежде всего, речь идет об общем подходе к проектированию и реализации операционных систем в пользу обеспечения надежности и отказоустойчивости.

В настоящей статье проводится анализ некоторых из современных подходов к повышению отказоустойчивости ОС.

Использовать подход на основе изоляции драйверов предлагают Свифт и Бершад. Ими была создана прототипная подсистема, получившая название *Nooks* [1].

*Nooks* — это подсистема монолитного ядра, которая позволяет расширениям ядра, таким как динамические драйверы устройств и драйверы файловых систем, выполняться изолированно в ядре операционной системы.

В традиционном монолитном ядре любая ошибка в драйвере может повредить важные структуры ядра. Чтобы уменьшить риск последствий ошибок, *Nooks* позволяет выполнять драйверы в особых областях, для которых устанавливаются ограничения записи в адресном пространстве ядра.

*Nooks* отслеживает все попытки доступа или произошедшие сбои, и обеспечивает возможность автоматического восстановления.

В своем подходе авторы не предлагают разрабатывать новую системную архитектуру, а напротив — улучшить надежность существующих систем, главным образом уменьшив вероятность фатальных сбоев, связанных с системными драйверами.

Авторами выделяются три ключевых принципа, которым соответствует *Nooks*.

Во-первых — совместимость. Архитектура должна

быть совместима с существующими системами и расширениями, либо с минимальными изменениями.

Во-вторых — изоляция сбоев. Архитектура должна строиться таким образом, чтобы изолировать важные структуры ядра от ошибок в системных расширениях и драйверах.

И, в-третьих — самовосстановление. Архитектура должна поддерживать автоматическое восстановление после сбоев.

В предлагаемой подсистеме можно выделить несколько ключевых элементов: менеджер изоляции и восстановления (см. рис. 1).

Каждый драйвер выполняется в своем собственном контексте исполнения с привилегиями уровня ядра, но с ограниченным доступом записи к определенной части адресного пространства. В задачи менеджера изоляции входят две задачи. Первая — это распределение и учет используемых контекстов исполнения драйверов, а вторая — контроль доступа между контекстами исполнения и сервисами ядра.

Если происходит сбой в драйвере устройства или другом подконтрольном расширении ядра, подсистема изоляции в состоянии определить источник сбоя до контекста исполнения (который является текущим) и драйвера. Также предусматриваются локализации и мониторинг системных обращений и потребляемых ресурсов.

При возникновении сбоя и локализации источника происходит остановка текущего контекста выполнения драйвера и начинает работу система самовосстановления, которая состоит из двух частей: менеджера восстановления и агента восстановления.

Менеджер восстановления выполняет низкоуровневые операции, такие как отключение прерываний для устройства, вызвавшего сбой. Далее вызывается специальный агент восстановления, который реализуется как обычный процесс в пространстве пользователя.

Агент самовосстановления, согласно определенной политике относительно сбоев в конкретных драйверах, может выполнять специфичные действия по восстановлению и оповещению. Восстановление работоспособности драйвера осуществляется путем полной выгрузки динамического модуля драйвера из ядра и загрузки его заново.

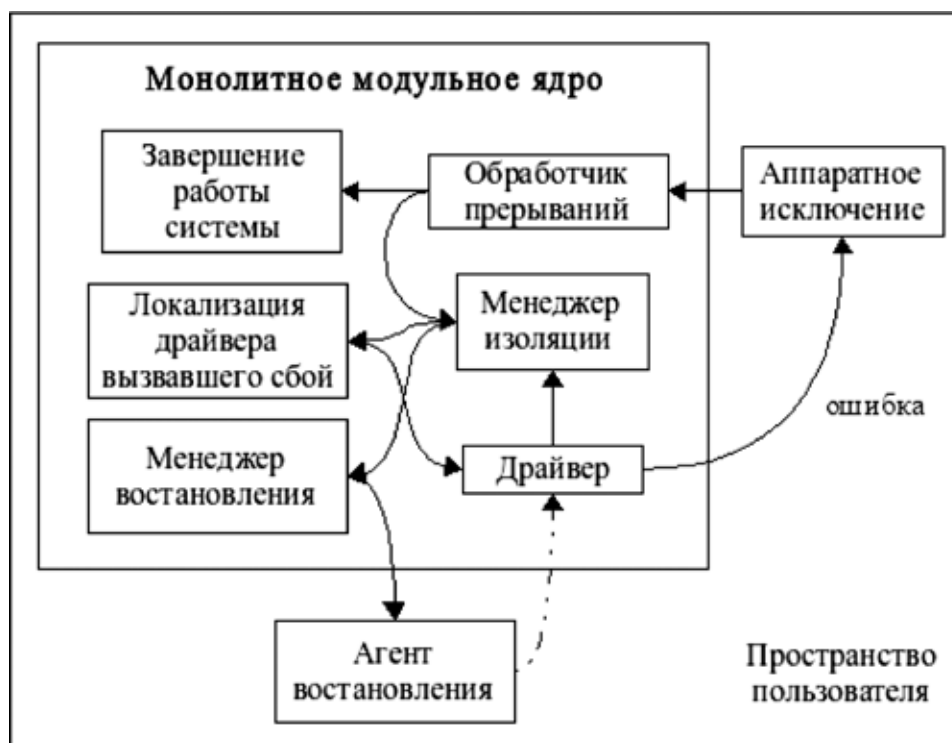


Рис. 1. Организация подсистемы изоляции драйверов

Для тестирования подсистемы изоляции Nooks в ядре ОС Linux и эмуляции ошибок авторы намеренно внесли ошибки в некоторые драйверы устройств общим количеством 365 изменений. Эффективность подсистемы изоляции составила при этом 99%, 360 из ошибок были изолированы. Однако на системе без подсистемы изоляции драйверов все 365 случаев привели к сбою в системе.

Накладные расходы, связанные с работой подсистемой изоляции и механизмом восстановления, варьировались от 10% до 60%.

#### **Системы, построенные на языках, использующих безопасные типы данных**

Следующим развивающимся современным подходом к построению надежных систем является идея использования языков, использующих безопасные типы.

Использование типо-безопасных языков программирования позволяет избежать некоторых традиционных проблем, связанных с таким языками как Си и Си++.

Такие языки, как правило, имеют более формальный, несколько ограничивающий диалект, который в частности может запрещать использование указателей на память, оставляя возможность работы с явно выделенными и определенными объектами, доступ к которым осуществляется по ссылкам.

Одним из важных отличий от традиционных языков является то, что таким языкам необходима специальная среда выполнения.

Среда выполнения обычно сочетает в себе компилятор, виртуальную машину, менеджер управления памятью и

динамической оптимизации, верификатор, различные унифицированные классы языка в привязке к сервисам конкретной операционной системы.

Использование компилятора, как части общей среды выполнения, нашло широкое применение в современных интерпретируемых языках программирования.

Одной из возможностей использования встроенного компилятора может заключаться в возможности генерации кода непосредственно во время работы среды выполнения.

Такой подход представляет интерес для возможности динамического создания и изменения структуры кода, или использования мета-рефлексивных процедур [2]. Также одной из важных особенностей интерпретируемых языков является снижение сложности программирования в целом и уменьшение временных затрат на разработку и программирование кода.

В задачи виртуальной машины входит динамическое выполнение и интерпретирование специальных машинных команд (байткода). Одной из важных задач виртуальной машины является динамическая проверка границ доступа к массивам данных и объектам.

Особенно важно выделить тот факт, что использование виртуальных машин позволяет легко идентифицировать источники ошибок и создавать подконтрольную среду выполнения, толерантную к сбоям.

Поэтому использование виртуальных машин и специальных языков сред должно рассматриваться как одно из ключевых направлений в изучении и проектировании отказоустойчивых архитектур.

Для решения проблемы «утечки памяти» и упрощения процедур управления в современных языках программи-



рования используются так называемые «сборщики мусора», которые освобождают программиста от необходимости освобождать объекты и выполняют управление памятью в автоматическом режиме.

Очевидно, что такой подход в целом накладывает значительные накладные расходы, по сравнению с выполнением программ на родном машинном языке [3, 4].

Для улучшения этой ситуации была создана динамическая JIT (Just-In-Time) компиляция, суть которой заключается в том, что байткод виртуальной машины компилируется в машинные команды родной машины, после чего выполняется как обычная программа [5].

Задача верификатора заключается в предварительном, статическом анализе байткода виртуальной машины на предмет ошибок и несоответствий по различным эвристическим правилам [6].

Также работа верификатора может повысить производительность и упростить работу виртуальной машины, поскольку множество проверок выполняется до исполнения кода и уже не требуется на момент непосредственного выполнения.

Из систем, построенных на использовании типобезопасного языка программирования, можно выделить, прежде всего, построенные на языке Java (JavaOS, JNode, JX), и Oberon системах (Bluebottle, Oberon, XO/2), использующих язык Оберон, а также на специальном диалекте языка C#, используемом в новой операционной системе Singularity [7] от компании Microsoft.

Привлекательной чертой подхода, использующего специальные языки программирования в целом, заключается в том, что появляется очень большая свобода реализации и значительно повышается степень контроля исполнения в сравнении с аппаратной защитой.

Например, контроль вызовов объектов может осуществляться динамически, таким образом создавая привлекательную и изящную платформу для адекватной реализации политик информационной безопасности в системе.

Семантику языка можно расширить, позволяя реализовывать множество системных функций простым образом, например, передачу сообщений, создание потоков ядра, синхронизацию, специализированное управление ресурсами, безопасность и другие.

Также можно повысить стабильность системы, введя средства повышения отказоустойчивости, в частности, транзакционное кэширование критических структур данных, которое хорошо сочетается с персистентным состоянием объектов и с общей идеологией подхода с применением специализированного языка программирования.

#### **Подходы к повышению отказоустойчивости операционных систем**

Можно выделить несколько факторов способствующих повышению стабильности и надежности операционных систем, которые можно было бы принять во внимание

при исследовании и изначальном проектировании архитектуры и системы в целом.

*Во-первых*, нужно выделить необходимость использования специального системного типобезопасного языка программирования, который бы помимо общих, стандартных конструкций поддерживал бы более высокоуровневые механизмы, например межпроцессные коммуникации, механизмы, повышающие информационную безопасность в целом, контроль выполнения, конструкции позволяющие изолировать системные сбои.

Другими словами, свести многие стандартные механизмы и примитивы работы, реализуемые в операционных системах сразу на уровень специализированного системного языка.

*Во-вторых*, необходимо кардинально пересмотреть принципы построения системной архитектуры. Проблемы микроядерной архитектуры могут быть частично решены пересмотрением общих, классических принципов организации этой архитектуры.

В частности, повышение производительности межпроцессных коммуникаций и, следовательно, всей системы в целом может быть осуществлено с помощью отказа от использования множества различных контекстов защиты и помещением всего функционала системы в единое контролируемое пространство.

Для организации защиты между элементами в системе, вместо аппаратной защиты нужно использовать защиту программную, которая должна реализовываться на уровне системного языка программирования.

Очевидно, также, что это пространство должно разделяться логически, например с помощью использования различных пространств имен в системном языке программирования.

*В-третьих*, необходимо спроектировать специальные методы повышающие отказоустойчивость и предоставляющие возможность программным путем производить восстановление после сбоев. Среди подобных методов в общем можно выделить:

*Использование дублирующих объектов*, при возникновении сбоев в объекте обработки, этот объект мог бы, прозрачным для системы образом, быть заменен на безопасную версию.

*Использование контрольных точек самовосстановления*, возможность использования специальных контрольных точек в которые состояние объекты бы сохранялось. При возникновении сбоев, можно было бы восстановить прошлое состояние объекта.

*Использование различных версий алгоритмов*, возможность локального объявления однотипных алгоритмов, если при обработке одного алгоритма случается сбой, управление передавалось бы на другой алгоритм.

*Использование специальных программных доменов отказоустойчивости*, или другими словами, возможность объявления иерархических сущностей, которые бы

адекватно могли отреагировать на ситуацию сбоя в системе, и предпринять соответствующие действия по восстановлению нормальной работы.

Очевидно, что все вышеперечисленные средства должны быть также реализованы на уровне системного языка операционной системы. Чтобы добиться описанной функциональности и программного контроля над выполнением такого уровня, для этого должна быть создана специальная среда выполнения языка, выполняющая программный код в специальных контекстах виртуальной машины.

Другими словами классическая операционная система должна рассматриваться как среда выполнения для языка программирования этой системы.

Все вышеизложенные предложения, помимо архитектурных особенностей в целом, способствуют тому, что необходимо исследовать методики программирования и новые языковые сущности для обеспечения отказоустойчивости, локализации и изоляции сбоев.

Еще очень существенной возможностью является контроль доступа в подобной среде, появляются возможность в принципе контролировать любые обращения и операции между объектами. Таким образом, создавая поли-

тики безопасности системы очень высокого уровня, поддерживающие мандатные режимы контроля.

Что же касательно производительности подобной системы, современные реализации динамической компиляции JIT, позволяют добиться хорошей практически идентичной производительности в сравнении со статической машинной компиляцией[8].

### **Заключение**

В настоящее время нами был получен положительный опыт разработки операционной системы построенной на так называемой «безъядерной» архитектуре.

В основе этой архитектуры лежит многоуровневая модульность, позволяющая разбить все системные компоненты на независимые программные компоненты, динамически компонуемые при начальной инициализации. На основе полученного опыта, была развита концепция единой отказоустойчивой среды выполнения[9]. Создан специализированный язык программирования и среда выполнения[10]. В настоящее время происходит адаптация предлагаемых подходов к современным требованиям и их апробация.

### **Литература**

1. Swift M., Bershad B., Levy H. Improving the Reliability of Commodity Operating Systems. // University of Washington, 2003.
2. Cordy J., Shukla M. Practical metaprogramming. // IBM Centre for Advanced Studies, 1992.
3. Reekie H., Hylands C., Lee E. Tcl and Java Performance. // University of Californiat at Berkley, 1998.
4. Ertl A, Maierhofer M. Implementation of Stack-Based Languages on Register Machines. // Dissertation, Technische Universtat Wien, Austria, 1996.
5. Krall A. Efficient JavaVM Just-in-Time Compilation. // PACT, 1998, p. 205.
6. Muller G., Moura B., Bellard F., Consel C. «JIT vs Offline Compilers: Limits and Benefits of Bytecode Compilation». // IRISA 1996 PI 1063
7. Leroy X. Java Bytecode Verification: Algorithms and Formalizations. // JOAR, vol. 30, 2003.
8. Hun G., Larus J., Abadi M. An Overview of the Singularity Project. // Microsoft Research Technical Report MSR-TR-2005-135.
9. Симоненко Д. «Концепция единой отказоустойчивой среды выполнения» // Сборник научных трудов НТЦ РУП МЭСИ №6
10. Симоненко Д.Н. «Архитектура и реализация единой отказоустойчивой среды выполнения.» // Сборник научных трудов НТЦ РУП МЭСИ №6

## **Доменный подход к повышению отказоустойчивости систем выполнения**

Симоненко Д.Н., аспирант

Московский государственный университет экономики

**Д**овольно актуальной в наше время считается проблема отказоустойчивости систем выполнения, таких как операционные системы и среды выполнения языков программирования. Эта проблема носит комплексный характер, поэтому целесообразно рассматривать её на разных уровнях проектирования.

Прежде всего, проблема отказоустойчивости — это проблема контроля исполнения и локации. Здесь можно пойти по двум путям — аппаратно-программному и программному.

В первом случае, реализация может рассматриваться на примере архитектуры, близкой к микроядерной, но при

этом имеющей более детализированный характер (например, подход, аналогичный компонентно-безъядерной архитектуре). При этом организация защиты и контроля доступа должна осуществляться аппаратно, с помощью соответствующих средств ММУ.

Во втором случае, контроль осуществляется посредством виртуальной машины. Подход на основе виртуальной машины позволяет более тщательно контролировать все аспекты процесса выполнения, в том числе производить мониторинг элементарных операций между объектами и отслеживать вероятные сбои. Таким образом, код, в том числе содержащий злонамеренные действия, выполняемый посредством виртуальной машины или машин, может быть проконтролирован (ошибка, случающаяся внутри виртуальной машины, не приводит к таковой аппаратной).

Также такой подход позволяет производить верификацию кода и строить более адаптированную архитектурную модель в целом.

Остановимся на втором случае, поскольку в данном случае этот подход является более предпочтительным и безопасным.

Возникает следующий закономерный вопрос, каким образом мы можем изолировать сбои и по возможности их устранить?

Первым шагом на пути решения этой проблемы было введение понятия именованных объектов и пространств. Объект служит как функционально законченной единицей в системе, так и представляет собой именованную область, позволяющей локализовать источник сбоя.

Каждый из объектов реализует свойственную только ему функциональность, поэтому создавать единый метод обработки ошибок на уровне среды выполнения было бы неразумно, и, учитывая масштабы, которым должна отвечать архитектура, на определенном этапе стало бы просто невозможно.

Здесь можно рассматривать несколько вариантов подхода к данной проблеме. Ввести локальные методы обработки ошибок либо вводить некоторые обобщающие элементы, позволяющие группировать объекты над единым обработчиком ошибок.

Но для начала введем само понятие ошибки.

*Ошибка* — это логическое событие, ответная реакция на произошедший локализованный сбой. Ход выполнения и контроль осуществляется виртуальной машиной в рамках среды выполнения. Поэтому ошибка — это событие, создаваемое виртуальной машиной при программном или аппаратном сбое.

Форма ошибка носит вид исключения, присущее языкам высокого уровня. Как показывает практика, обработка исключений должна быть локальной и глобальной.

При локальной обработке осуществляется контроль появления ошибок или других исключительных ситуаций в какой-то небольшой задаче или сегменте кода. При глобальной обработке обрабатываются все или некоторые из ошибок, которые не были обработаны на локальных участках. Здесь необходимо расширение данного подхода:

Во-первых, разделяя всю функциональность на законченные объекты, мы тем самым создаем удобную среду для дублирования функциональности. Допустим, объект А выходит из строя (было определено, что в объекте произошел сбой), в этом случае он может быть заменен на объект В, имеющий аналогичные интерфейсы объекта А, но реализованный иначе. Но само введение подобной функциональности замещения требует проектирования и разработки новых комплексных средств.

В данном случае необходим механизм, который:

- может обеспечить логику переадресации запросов — маршрутизацию между объектами;
- имеет интерфейс вызова и обращений и может ситуационно восстановить сбой в работе, при этом восстановление должно происходить прозрачным образом.

Подойти к решению этой комплексной задачи можно по крайней мере несколькими путями.

Реализовать вспомогательную контролируемую среду выполнения, которая бы отвечала за логику работы виртуальной машины основной среды выполнения при обработке разнородных событий, например, таких как: события, связанные с информированием о сбоях, о элементарных операциях между объектами, и др.

При этом очевидно, что вспомогательная среда тоже должна представлять из себя виртуальную машину, реализующая функционал другого специализированного языка программирования (см. рис. 1).

При этом системные объекты могли бы динамически программировать поведение основной среды выполнения в зависимости от определенных событий, таких как сбой или операции, связанные с контролем доступа между объектами.

Но поступая подобным образом, мы бы сильно усложнили общую архитектуру реализации среды. Появилась бы проблема необходимости совмещения типов, структур данных и различных интерфейсов между средами выполнения, при этом также введя дополнительные элементы ненадежности и накладные расходы, связанные с производительностью переключения контекстов между виртуальными машинами.

Другим более привлекательным подходом служит идея реализации работы логики контроля, основанной на событийно-рефлексивной модели — «Доменной» подход.

Рассмотрим эту модель подробнее и введем новое понятие *доменного* объекта.

*Доменный объект* — это объект, задачей которого служит обработка событий и запросов, поступающих от и к дочерним объектам, с которыми он ассоциирован (которых он представляет).

Логика работы проиллюстрирована на рис. 3. Рассмотрим её подробнее.

(1) Объект  $g$  из пространства  $Y$  ( $Y.g$  для краткости) обращается к объекту  $X.n$ .

(2) Среда выполнения располагает информацией, что объект  $n$  ассоциирован с доменным объектом  $X$ , поэтому переводит управление на него.

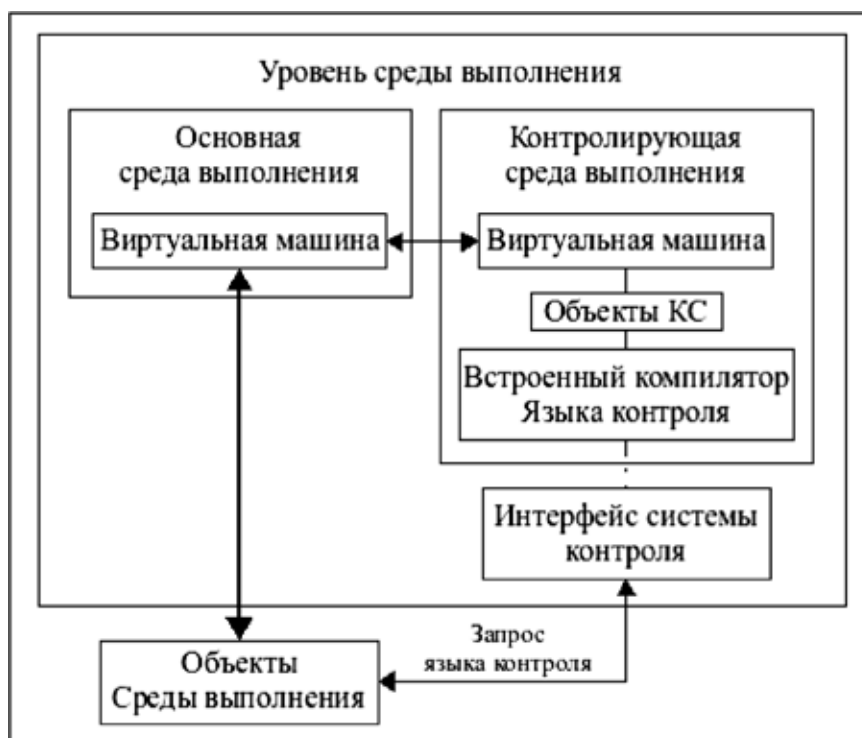


Рис. 2. Среда выполнения, сочетающая в себе основную и контролируемую среды

Доменному объекту  $X$  сообщается, кто совершил вызов, объект вызова, тип вызова или операции, и аргументы вызова.

(3) На основе этих данных доменной объекта  $X$  передает управление в вызываемый объект  $n$ .

(4) После обработки запроса объекта  $n$ , значение возвращается обратно через доменной объект  $X$  в объект  $g$ .

(5) Если происходит сбой в объекте  $n$ , то об этом сообщается его доменному объекту  $X$  путем передачи необработанного исключения. Доменной объект производит восстановительные действия, учитывая характер ошибки. Далее, оперируя со своей структурой маршрутизации, устанавливает, что все дальнейшие вызовы к объекту  $n$  должны переадресовываться его дублеру — объекту  $p$ .

Описанный способ позволяет реализовать общие принципы обработки событий, связанных со сбоями и контролем выполнения. Позволяет создавать многоуровневые обработчики и обеспечивать прозрачную реакцию на произошедшие события.

Также для повышения отказоустойчивости и поддержки данного подхода необходимо введение дополнительных средств.

Прежде всего, необходимо проработать методы обнаружения логических ошибок, и ошибок, связанных с валидностью входных и выходных данных. Хорошим направлением в этом отношении стало введение контрактов в языке программирования D [1].

*Контракт* — это функциональная часть метода обработки данных, отвечающая за проверку валидности входных и выходных значений этого метода. В общем случае, контракт — это языковая конструкция, которая

определяет операции, выполняющиеся при выполнении метода (входной контракт) и после возврата значения (выходной контракт).

В нашем же случае, для более полной поддержки механизмов изоляции сбоев необходимо расширение понятия выходного контракта еще и обработкой исключительных ситуаций.

Также понятия контрактов хорошо сочетаются с концепцией модульного тестирования [2].

Этот вид тестирования, в общем случае, используется для тестирования отдельных частей программ и методов, чтобы удостовериться в их работоспособности с помощью простых тестов.

Интерес же представляет большое количество широких методов проверок валидности значений и генерации соответствующих событий, которые хорошо сочетаются с идеей контрактов.

Помимо языковых конструкций и методов проверок валидности, необходимы общесистемные средства, которые бы обеспечивали транзакционное сохранение важных структур данных. Эти данные могут быть использованы при восстановлении после сбоев.

Другими словами, необходима возможность сохранения сериализационных данных, сохраняя объекты в определенный момент времени, обеспечивая возможность создания контрольных точек выполнения; таким образом необходима инфраструктура транзакционного кэширования.

Учитывая комплексный характер подобного предложения, очевидно, что такие средства должны реализовываться не на уровне среды выполнения, а в самой системе, реализованной на её принципах.

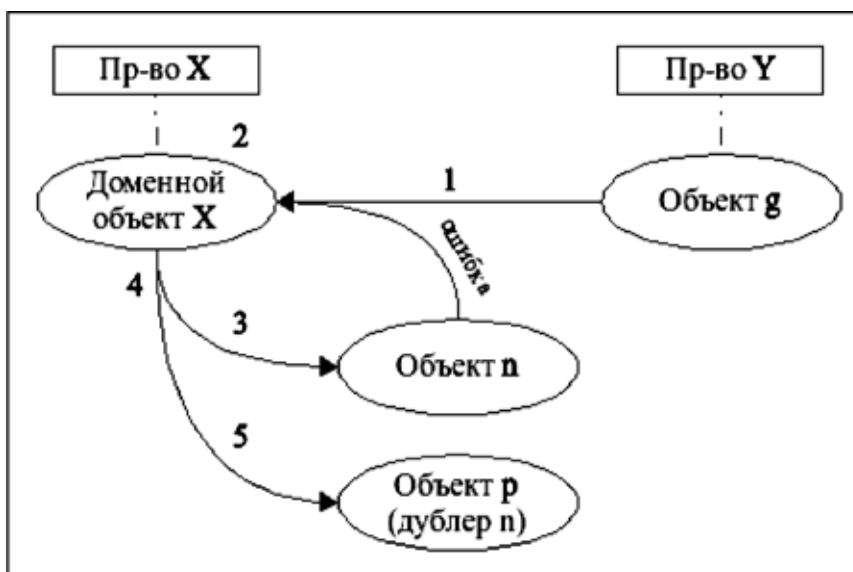


Рис. 3. Принцип работы доменных объектов

**Заключение**

В статье был рассмотрен так называемый «доменной» подход, который призван повысить отказоустойчивость систем выполнения. Суть подхода составляет механизм позволяющий организовать рефлексивную обработку системных запросов для подконтрольного пространства делегируемых объектов.

На основе полученного опыта, была разработана концепция единой отказоустойчивой среды выполнения [3]. Создан специализированный язык программирования и среда выполнения [4]. В настоящее время происходит адаптация предлагаемых подходов к современным требованиям и их апробация.

**Литература**

1. D programming language. // Digital Mars, 2003.
2. Rajendran R. White paper on Unit Testing. // Decanet Designs Lts.
3. Симоненко Д.Н. «Концепция единой отказоустойчивой среды выполнения» // Сборник научных трудов НТЦ РУП МЭСИ №6
4. Симоненко Д.Н. «Архитектура и реализация единой отказоустойчивой среды выполнения.» // Сборник научных трудов НТЦ РУП МЭСИ №6

**Повышение отказоустойчивости операционных систем**

Симоненко Д.Н., аспирант  
Московский государственный университет экономики

Современным операционным системам необходимо решать большое количество сложных и комплексных задач. Вместе со сложностью и размерами системы резко повышается её ненадежность из-за возрастающих факторов, способных привести систему к отказу. Согласно проводимым исследованиям надежности ПО, на каждую 1000 строк кода приходится от 6 до 16-ти ошибок, при этом размеры современной ОС составляют более 10 миллионов строк кода [1].

Текущая ситуация такова, что в самых передовых операционных системах применяются неэффективные архитектурные решения, которые, ввиду своей специфики, не

способны в полной мере обеспечить высокий уровень отказоустойчивости.

Единовременное сочетание и удовлетворение всех требований с высоким уровнем обеспечения отказоустойчивости, информационной безопасности и быстродействия является сложной исследовательской и практической проблемой.

Проблема повышения эффективности работы механизмов отказоустойчивости является предметом исследования настоящей работы.

Наиболее распространенными архитектурами ОС являются монолитная и микроядерная (см. рис. 1). До-



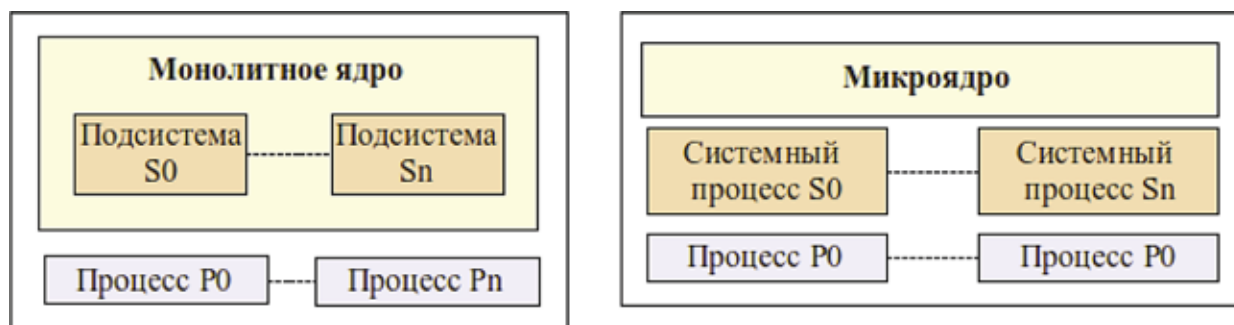


Рис. 1. Монолитная и микроядерная архитектуры

стоинствами *монолитной* архитектуры является широкое распространение в среде ОС, а также высокое быстродействие. Главным недостатком является отсутствие разбиения функциональности, соответствующее требованиям отказоустойчивости. Практически любая ошибка в ядре системы приводит к отказу в работе всей системы.

Одним из достоинств *микроядерной* архитектуры является более высокая отказоустойчивость в сравнении с монолитной, обеспечиваемой за счет переноса основных подсистемы на уровень системных процессов. Основным недостатком микроядерной архитектуры является значительно низкое быстродействие в сравнении с монолитной, обусловленное затратным временем ожидания переключения контекстов защиты и выполнения, а также временем обработки запросов между процессами.

Проблема механизма обеспечения отказоустойчивости в микроядерной и монолитной архитектуре состоит в том, что процесс обработки отказов сводится к простому перезапуску, при этом, как правило, завершившийся аварийно процесс теряет своё актуальное состояние и текущие данные.

Формально задачу повышения показателей отказоустойчивости можно выразить как увеличение размерности

множеств локализуемых сбоев  $L$  и восстанавливаемых сбоев  $R$ , входящих во множество всех возможных сбоев  $E$  (см. рис. 2.).

Расчет показателей отказоустойчивости системы может быть выполнен в два этапа:

На *первом* этапе проводится расчет множества вероятных ошибок  $E$  при динамике роста объемов системы. Рост ошибок  $N$  объясняется предположением, что при увеличении размеров системы увеличивается количество ошибок, при этом  $D$  является количеством областей изоляции отказов системы:

$$(1) \quad E = \frac{N}{D} \quad R = \frac{L}{R_{recovered}}$$

$$(2) \quad L = \frac{E}{L_{localized}} \quad F = \frac{R}{L}$$

На *втором* этапе рассчитывается показатель отказоустойчивости  $F$ . Для расчета множества локализуемых сбоев  $L$  использовался коэффициент степени локализуемости ошибок  $L_{localized}$ , для расчета множества восстанавливаемых сбоев  $R$  использовался коэффициент степени восстанавливаемости локализованных сбоев  $R_{recovered}$ .

Показатели  $L_{localized}$  и  $R_{recovered}$  стремятся к единице в

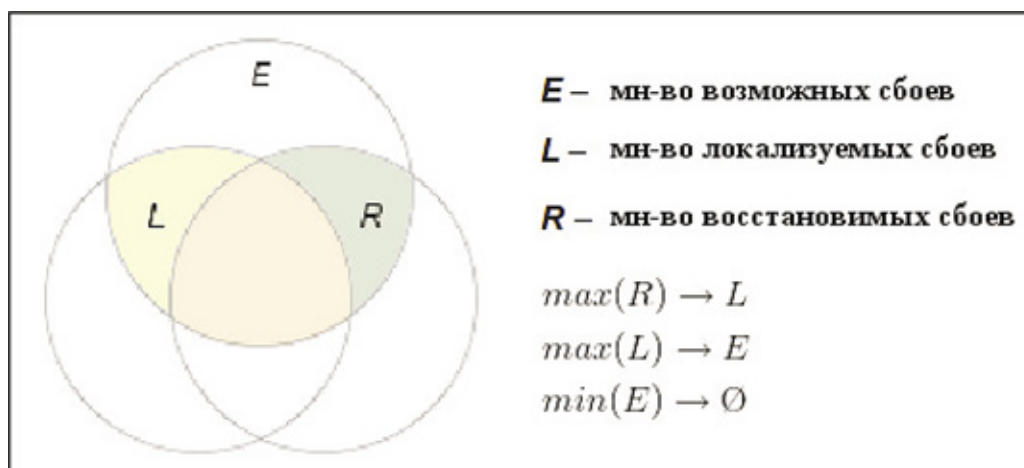


Рис. 2. Постановка задачи повышения показателей отказоустойчивости

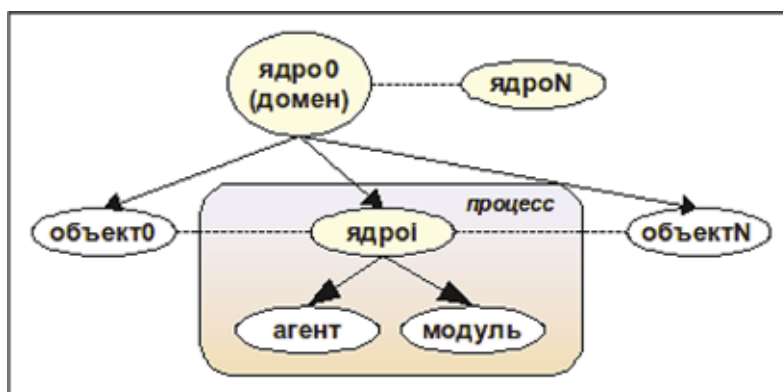


Рис. 3. Доменная архитектура ОС

зависимости от объемов изолируемой области. Другими словами, показатели соответствуют примерному объему системы и степени возможности определить и локализовать возможные ошибки и определить восстанавливаемые. То есть, чем проще и меньше функциональная область, тем меньшее количество ошибок должно в ней содержаться.

В соответствии с необходимостью повышения отказоустойчивости ОС и на основании проведенного анализа и выявленных недостатков, а также полученного нами ранее опыта проектирования и реализации ОС, была разработана «доменная» архитектура ОС (см. рис. 3).

Основное отличие доменной архитектуры [2] от монолитной и микроядерной состоит в том, что традиционная организация ядра ОС значительно видоизменяется в пользу более глубокой декомпозиции.

При этом аналогия ядра системы, как обработчика запросов приложений, переносится на так называемые доменные объекты. В системе может быть определено любое множество доменных объектов, каждый из которых отвечает за обработку запросов к дочерним объектам, в т.ч. и доменным.

В свою очередь, для функционирования доменной ОС необходима специализированная среда выполнения (виртуальная машина). Рассмотрим частный пример обеспечения отказоустойчивости за счет дублирования (см. рис. 4):

- (1) Объект  $g$  обращается к объекту  $n$ .
- (2) Среда выполнения располагает информацией, что объект  $n$  ассоциирован с доменным объектом  $X$ , поэтому переводит управление на него. Доменному объекту  $X$  сообщается, кто совершил вызов, объект вызова, тип вызова или операции, и аргументы вызова.
- (3) На основе этих данных доменной объекту  $X$  передается управление в вызываемый объект  $n$ .
- (4) После обработки запроса объекта  $n$  значение возвращается обратно через доменного объекта  $X$  в объект  $g$ .
- (5) Если происходит сбой в объекте  $n$ , то об этом сообщается его доменному объекту  $X$  путем передачи необработанного исключения.

Далее доменный объект производит восстановительные действия, учитывая характер ошибки. Далее, оперируя со своей структурой маршрутизации, устанавливает, что все дальнейшие вызовы к объекту  $n$  должны переадресовываться

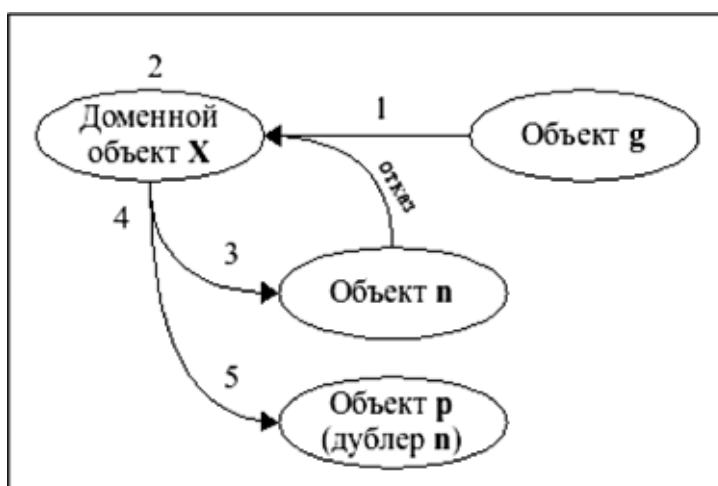
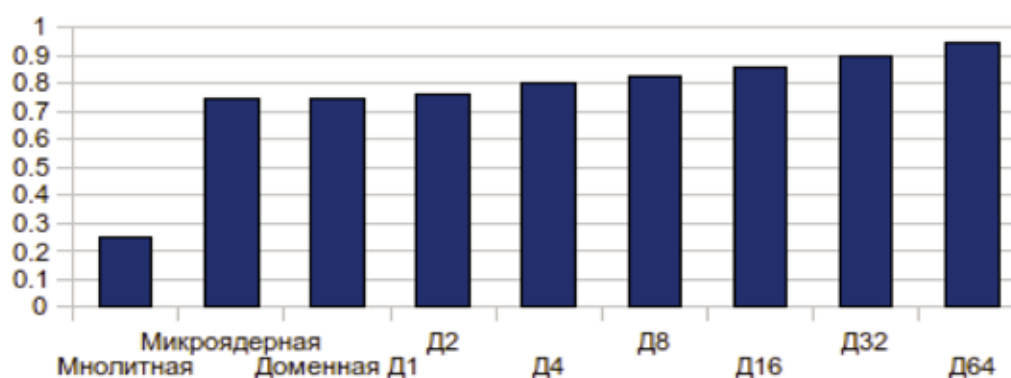


Рис. 4. Обеспечение отказоустойчивости за счет дублирования

Таблица 1

Исходные данные и результаты моделирования отказоустойчивости

Система	Кол-во доменных уровней	Кол-во ошибок $E$	Коэффициент локализуемости сбоев $L_{localized}$	Коэффициент восстановимости локализуемых сбоев $R_{recovered}$	$L$	$R$	$F$
монолитная		10000	24	1.55	357.14	106.60	<b>0.29</b>
микроядерная		2500	7	1.35	357.14	264.55	<b>0.74</b>
доменная	1	2500	7	1.35	357.14	264.55	<b>0.74</b>
	2	1250	6	1.3	208.33	160.25	<b>0.76</b>
	4	625	5	1.25	125	100	<b>0.8</b>
	8	312.50	4	1.2	78.12	65.10	<b>0.83</b>
	16	156.25	3	1.15	52.08	45.28	<b>0.86</b>
	32	78.12	2	1.1	39.06	35.50	<b>0.9</b>
	64	39.06	1	1.05	39.06	37.20	<b>0.95</b>

Рис. 5. Сравнение показателя отказоустойчивости  $F$ 

ваться его дублиру — объекту  $p$ . Описанный способ позволяет реализовать общие принципы обработки событий, связанных с отказами и сбоями.

Для предварительной оценки показателей отказоустойчивости системных архитектур было проведено экспериментальное моделирование. Исходные данные и результаты моделирования представлены в таблице 1.

На графике представлено сравнение степени отказоустойчивости систем (см. рис. 5).

На основе полученных результатов экспериментов можно сделать вывод, что доменная система при количестве доменных уровней:

1.  $D = 1$ , соответствует отказоустойчивости микроядерной системы.

2.  $D > 1$  способна уменьшить примерно в  $N$  раз множество вероятных ошибок по сравнению с микроядерной системой и, соответственно, получить значение показателя отказоустойчивости, который будет стремиться к

единице (к полному покрытию сбоев). Что дает возможность значительно повысить отказоустойчивость в сравнении с другими архитектурными подходами.

### Заключение

В статье был проведен анализ проблематики отказоустойчивости архитектур ОС и были выявлены соответствующие недостатки. В общем виде была поставлена задача повышения отказоустойчивости.

На основе выявленных проблем нами была разработана доменная архитектуры ОС, позволяющая повысить показатели отказоустойчивости. Для предварительной оценки показателей отказоустойчивости системных архитектур было проведено экспериментальное моделирование и получены результаты, свидетельствующие о положительном потенциале представленной архитектуры.

## Литература

1. Basili V.R., Perricone B.T. Software errors and complexity: an empirical investigation // ACM 27, pp. 42–52.
2. Симоненко Д.Н. Концепция единой отказоустойчивой среды выполнения // Сборник научных трудов НТЦ РУП МЭСИ №6.

## Методика оценки надежности изоляции секций катушек синхронных машин

Идиятуллин Р.Г., доктор технических наук, профессор; Смердова Т.Е., соискатель; Вдовин А.М., гл.энергетик;  
 Попов А.В., зам.гл.энергетика  
 Казанский государственный энергетический университет  
 ОАО Нижнекамскнефтехим

Эксплуатация синхронных машин серии СД в сложных условиях нагрузок предъявляет особые требования к техническому состоянию изоляции обмоток статора. Внутренние перенапряжения вызываются колебаниями электромагнитной энергии, запасенной в элементах электрической и магнитной цепях. Внутренние перенапряжения могут быть как резонансные, так и коммутационные.

Момент возникновения перенапряжений продолжительностью ( $\tau$ ), его действие на электрическую изоляцию являются случайными величинами, так как обусловлены влиянием случайных факторов, зависящих от состояния системы, момента коммутации и особенностями работы коммутирующей аппаратуры.

Перенапряжение принято оценивать кратностью по отношению к аппаратуре фазного рабочего напряжения:

$$k = \frac{\sqrt{3}U_n}{\sqrt{3}U_H},$$

где  $U_n$  — амплитуда напряжения;

$U_H$  — номинальное напряжение.

Часто в эксплуатации изменение параметра подчиняется линейному закону. Поэтому наиболее характерен случай, когда он подчиняется нормальному закону распределения:

$$f(\tau) = \frac{1}{\sigma_\tau \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(\tau - \tau_m)^2}{2\sigma_\tau^2} \right\},$$

где  $\tau_m$  — математическое ожидание отклонения напряжения;

$\sigma_\tau$  — среднеквадратическое отклонение напряжения.

В связи с этим необходимо произвести проверку статической гипотезы распределения параметров. Данные, полученные в результате проведенных экспериментальных исследований параметров, представляют собой множество значений. Функция распределения этих величин может подчиняться различным законам. Если относительно распределения будет принята некоторая гипотеза, и она будет описываться однозначно, то гипотеза будет считаться простой. Если же гипотеза будет описывать некоторый класс распределений, то гипотеза называется сложной. Тогда для простой гипотезы будет иметь место:

$$F(x) = P(\xi \leq x).$$

Тогда

$$H_1: MX = \alpha, DX = \sigma^2.$$

Для сложной гипотезы

$$H_2: MX \geq \alpha.$$

Математическое ожидание  $\alpha$  неизвестно в случае, когда гипотеза  $H_2$  верна. Таким образом, для адекватной оценки параметров необходимо проверить некоторую гипотезу  $H_0$ , касающуюся распределения случайной величины  $X$  по заданной выборке. Как правило, считается необходимым, наряду с выдвигаемой гипотезой рассматривать альтернативную гипотезу  $H_1$ . В этом случае статистические выводы носят более определённый характер.

Проверка гипотезы  $H_0$  против альтернативы  $H_1$  сводится к следующему: первоначально находится статистика  $t(x_1, x_2, \dots, x_n)$  из данных измерений параметров  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Значения статистики ощутимо отличаются в случае, когда верна гипотеза  $H_0$  и в случае, когда верна альтернатива  $H_1$ , которая называется статистикой критерия. Будем считать, что  $A_0$  — область на числовой оси, где концентрируются значения статистики  $t$  в случае если верна гипотеза  $H_0$ , а  $A_1$  — область, где концентрируются значения  $t$  в случае, когда верна альтернатива  $H_1$ . Желательным условием является следующее:  $A_0$  и  $A_1$  не должны пересекаться, их объединение составило бы всю числовую ось.

В этом случае значения выборки можно с высокой степенью достоверности считать, что гипотеза  $H_0$  верна или нет. Анализ статистических данных показывает следующее: функциональные свойства системы имеют сложную природу. На параметры системы влияет множество «внутренних», а также «внешних» факторов. С одной стороны статистика  $t$  и при гипотезе  $H_0$ , и при альтернативе  $H_1$  может принимать практически любые значения, поэтому построить безошибочный критерий проверки гипотезы  $H_0$  против гипотезы  $H_1$  невозможно.

Одновременно с этим, с большой вероятностью статистика  $t$  в случае, когда верна гипотеза  $H_0$ , принимает значения в достаточно узкой области  $A_1$ . Помимо  $A_0$  и  $A_1$  есть ещё область, куда значения  $t$  не попадают и в случае справедливости гипотезы и в случае справедливости альтернативы. Предположим, что  $H_0$  и  $H_1$  — простые гипотезы и

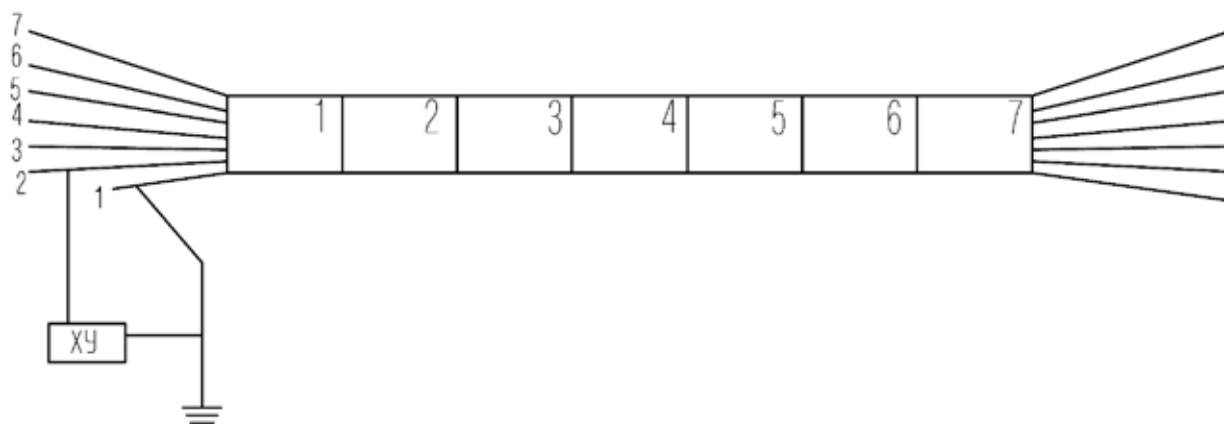


Рис. 1. Эскиз катушки

$P_0(x)$ ,  $P_1(x)$  — функции плотности вероятности данных измерений  $t(x_1, x_2, \dots, x_n)$  в случае справедливости  $H_0$  и  $H_1$ . Значения статистики концентрируются в области наибольшей вероятности их функций плотности распределения.

Если измеренные значения будут находиться в некотором промежутке, тогда вынести определённое решение будет сложно. Исходя из условий поставленной задачи, основное требование, которое предъявляется к проверке статистических гипотез, состоит в том, чтобы решение относительно справедливости  $H_0$  или  $H_1$  было вынесено и это решение носило однозначный характер. Для этого необходимо расширить области  $A_0$  и  $A_1$  так, чтобы они не пересекались и составляли вместе всю числовую прямую.

Таким образом, после проведённых экспериментальных исследований, данные измерений разбиваются на две части —  $A_0$  и  $A_1$  — и размещаются на числовой оси. При этом принимается гипотеза  $H_0$ , если  $t(x_1, x_2, \dots, x_n) \in A_0$  или применяется альтернатива  $H_1$  (отклоняется гипотеза  $H_0$ ), если  $t(x_1, x_2, \dots, x_n) \in A_1$ . Область  $A_0$  называется областью принятия гипотезы  $H_0$  или критической областью для альтернативы  $H_1$ . Соответственно, область  $A_1$  называется областью принятия альтернативы  $H_1$ , или критической областью для гипотезы  $H_0$ . Области  $A_0$  и  $A_1$  выбираются, как правило, простыми.

Кратность коммутационных перенапряжений складывается из вынужденной и переходных составляющих. Вынужденная составляющая кратности перенапряжений зависит от значений эквивалентности реактивной системы, на шины которой включается или отключается питающая линия.

Эта реактивность определяется в основном числом и мощностью находящихся в работе секций. С увеличением эквивалентной реактивности системы колебания вынужденной составляющей кратности перенапряжений зависят от вида коммутации, условий ее осуществления и параметров электропередачи. Эти факторы приводят к разрушению внутренней структуры элементов витковой и корпусной изоляции. В эксплуатации эти явления ведут к пробоям изоляции, местному выгоранию катушек и железа сердечника. В результате вынужденных простоев для за-

мены и восстановления синхронной машины нарушается технологический процесс.

С этой целью на испытательной станции нефтехимического объединения были проведены экспериментальные исследования. Целью этих испытаний было определить влияние перенапряжений происходящих в эксплуатации на остаточный ресурс изоляции катушек синхронных машин. Была разработана методика по определению и оценке технического состояния изоляции и остаточного ресурса.

Для испытания межсекционной изоляции были подготовлены образцы фрагментов катушек статора.

Были приведены контрольные испытания на воспроизводимость между секциями катушки по следующей схеме: напряжение подавали между 1-й и 2-й секциями катушек. После пробоя изоляции опыт повторялся. Число повторных опытов между указанными секциями равнялось пяти. Далее по аналогичному алгоритму последовательно производились испытания между 2–3; 3–4; 4–5 секциями катушки.

Результаты испытаний показали, что изоляция быстро восстанавливает свойства прочности. При этом замерялись величины пробивных напряжений  $U_{пр}$ . Участки с малыми значениями пробивного напряжения имеют, как правило, повреждения изоляции. Это можно объяснить усталостью изоляции.

Испытания изоляции при переменном токе дало следующие результаты: математическое ожидание пробивного напряжения составило — 19 кВ, коэффициент прочности изоляции равняется — 3,2. При постоянном токе результаты испытания иные: математическое ожидание пробивного напряжения — 29 кВ, коэффициент прочности изоляции — 5. Данные испытаний сведены в таблице 1.

В целом можно отметить следующее: несмотря на то, что испытываемые катушки имели большой срок эксплуатации и выработали амортизационный ресурс, данные образцы имеют положительные характеристики по показателю прочности. Необходимо отметить, что испытание изоляции проводилось при постоянной температуре окружающего воздуха.



Таблица 1

Измерение величины пробивных напряжений

№ секции катушек	Род тока	Повторные опыты $U_{пр}$ , кВ				
		1	2	3	4	5
1–2	«~»	34	32	28	26	24
1–2	«~»	22	20	16	14	12
2–3	«~»	20	20	20	18	18
3–4	«~»	20	20	20	18	20
4–5	«~»	20	20	20	20	18

**Литература**

1. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. М. Энергоиздат. 1981—400 С.
2. Острейковский В.А. Теория надежности, М. Высшая Школа, 2003 г. — 403 с.
3. Идиятуллин Р.Г. Методика расчета остаточного ресурса изоляции высоковольтных синхронных машин. Сборник докладов «Перспективные технологии электроэнергетики» IX Международный симпозиум. М. 29—31 мая 2007 г.

## План обеспечения электромагнитной совместимости при проектировании радиоэлектронного средства

Иванов В.А., кандидат технических наук, доцент; Сотникова Н.В., кандидат технических наук, ст.преподаватель  
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

**П**од электромагнитной совместимостью (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) понимают способность радиоэлектронных средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех и не создавать недопустимых радиопомех другим радиоэлектронным средствам.

В проект разрабатываемого РЭС рекомендуется включать специальный раздел, подробно излагающий пути выполнения требований межсистемной и внутренней ЭМС — план обеспечения ЭМС (ПОЭМС). Он составляется на основе действующих технических условий, стандартов, норм, правил и других документов и определяет программу обязательных работ, проведение которых обеспечит в последующем высокую надежность работы данной аппаратуры при допустимом запасе на ЭМП. При этом в ПОЭМС следует указывать возможные отклонения от установленных требований, если они технически оправданы.

Ранее такие требования к аппаратуре не предъявлялись. Однако опыт показал, что при современной насыщенности электронной аппаратурой это необходимо, причем на выполнение требований к ЭМС расходуется 5—10% стоимости радиоэлектронной аппаратуры [1].

В настоящее время в контракт (договор) на поставку аппаратуры обязательно включаются пункты, оговаривающие санкции за отсутствие ПОЭМС или несоблюдение его требований. Так, например, если разработчиком не предусмотрены все необходимые меры для того, чтобы

данное устройство обеспечивало нормы на электромагнитные помехи (ЭМП) при работе в системе, заказчик должен составить рекламацию на невыполнение соответствующих требований.

Для надзора за выполнением ПОЭМС основная роль отводится специалистам по контролю ЭМС, обязанность которых заключается в обеспечении точного соблюдения установленных методов и принципов контроля. При этом в ПОЭМС указываются их права и обязанности, а также оговаривается необходимость организации повышения квалификации и регулярной консультативной помощи в вопросах ЭМП и ЭМС.

Монтаж и установку подсистем (компоновку комплекса) следует выполнять персоналу, компетентному в вопросах ЭМС.

В ПОЭМС рекомендуется ввести следующие разделы, порядок освещения которых не регламентируется.

**Основные сведения.** Обоснование ПОЭМС, его назначение, сфера действия, используемые ТУ, нормы, стандарты, термины, определения, аббревиатуры и т.д.

**Руководство работами и ответственность.** Схема организации и план-график работ, подразделения и ответственные исполнители по отдельным устройствам; организация контроля ЭМС; возможности и обязанности субподрядчиков; план организации семинаров повышения квалификации.

**Основные параметры ЭМС.** Выделенные рабочие частоты для данного устройства или системы; мероприятия

по ограничению рабочего диапазона частот; полоса пропускания приемника; опорные частоты и гармоники генераторов; обоснование формы применяемых импульсов, крутизны их фронта и спада, скважности; спектр излучения передатчиков, минимизация мощности излучения и подавления его паразитных компонентов; восприимчивость отдельных узлов устройства.

**Монтаж.** Монтажная схема; прокладка и разнос силовых и сигнальных кабелей и цепей; принципы кабельного экранирования.

**Данные об отдельных устройствах и узлах.** Типовые элементы, узлы, блоки; методы заземления; обоснование применяемых фильтров и их характеристики; взаимное расположение и разнос блоков с учетом ориентации электромагнитных полей; критичность с точки зрения ЭМС отдельных узлов, их экранировка и изоляция.

**Конструкция и ее влияние на уровень ЭМП.** Выбранные при проектировании металл, тип литья, характер покрытия, габариты, секционность конструкции, методы установки и размещения узлов; устройства вентиляционных проемов и отверстий.

**Дополнительные данные, обусловленные специфичностью РЭС.** Полная частотная матрица всех рабочих частот приемников, гетеродинов, передатчиков; оценка влияния потенциальных источников внутрисистемных электромагнитных помех (ВЭМП) — мультивибраторов, коммутаторов, генераторов синхросигналов, стробимпульсов и т.д.; оценка степени взаимного влияния подсистем РЭС, в состав которого входит более двух антенн, и рассмотрение способов снижения этого влияния.

**Методики и программа измерений характеристик ЭМС.** Составляется на основе действующих стандартов и правил. Основное содержание ПОЭМС конкретизируется двумя примерами — для относительно простого устройства, не удовлетворяющего требованиям военного ведомства, и сложного комплекса.

Рассмотрим план обеспечения ЭМС простого устройства на примере двухканального радиометрического приемника с высокой чувствительностью ( $-165$  дБм), что обуславливает весьма жесткие требования к допустимым границам восприимчивости [2].

**Конструкция и ее влияние на уровень ЭМП.** Наружный кожух для размещения оборудования необходимо проектировать цельносварным, из металла с хорошей проводимостью, что обеспечит экранирование и изоляцию от внешних электромагнитных полей, а также позволит уменьшить уровень собственного излучения. Для уплотнения дверки в кожухе приемника используется зазубренная пружина на штифтах пли, что более предпочтительно, проволочная плетеная прокладка. Для ремонта или подстройки предусматриваются окна. Если вал управления проходит внутрь кожуха, то длину втулки следует выбрать такой, чтобы втулка служила предельным волноводом. Любое покрытие (покраска, грунтовка и т. д.) на соприкасающихся металлических поверхностях устраняется. Это обеспечит надежный электрический кон-

такт. Для экранирования отверстий, в которых установлены шкалы индикаторов, счетчики и т. д., используется металлическая сетка. Рекомендуется избегать использования токопроводящего стекла.

В качестве экрана для вентилятора используется металлическая сетка. Неиспользуемые соединительные гнезда должны закрываться колпачками.

**Цепи питания.** Поскольку линия питания переменного тока действует одновременно как среда передачи энергии от сети и как приемная антенна, на входе силовых кабелей необходимо обеспечить фильтрацию. Фильтр следует установить сразу же после ввода кабеля в кожух приемника. Емкость фильтра должна выбираться с учетом полной нагрузки цепи питания (и том числе контрольно-измерительными устройствами).

При этом падение линейного напряжения не должно превышать 2%. Частота среза фильтра должна быть по возможности ниже. Фильтр на входе силовой линии должен обеспечить на промежуточной частоте (ПЧ) приёмника затухание не менее 90 дБ. Вследствие очень высокой чувствительности приемника после фильтра необходимо обеспечить дополнительную развязку от помех из силовой сети. Так, например, импульсы, обусловленные возможными переходными процессами в силовой сети, или помехи, формируемые близко работающими электродвигателями, проникающие в оборудование через эквивалентную приемную антенну, могут быть причиной появления пиков мощности порядка 100 Вт ( $+50$  дБм). Так как эффективное подавление переходных помех, паразитных сигналов и других видов ЭМП при помощи фильтров обычно не превышает 100 дБ, необходимо использовать развязывающий трансформатор с электростатическим экраном.

В проекте размещения монтажных проводов следует предусмотреть полное разделение слаботочных цепей (управляющих и контрольных сигналов) и цепей питания. Цепи питания по постоянному и переменному току выполняются в виде скрученных экранированных пар проводов. В этом случае переходные помехи существенно уменьшаются из-за уменьшения уровня паразитных магнитных полей и исключения общих цепей по «земле». Экран для силовых вводов должен заземляться на обоих концах. Слаботочные цепи необходимо экранировать, выполнять коаксиальным кабелем и заземлять на обоих концах цепи.

Все монтажные пересечения должны проходить только под прямым углом. Для обеспечения электростатической развязки внешние шланги монтажных проводов нужно экранировать и заземлять на обоих концах цепи. Как для сигнальных, так и для силовых выводов в качестве обратного провода нельзя использовать экран или заземление.

**Входные цепи приемника.** Рассматриваемый приемник может использоваться как в лабораторных, так и в полевых условиях. При этом напряженность поля помех в диапазоне 3–300 МГц может достигать порядка 10 В/м. Если затухание, вносимое внешним кожухом приемника, составляет 100 дБ, то внутри приемника напряженность

поля достигнет 100 мкВ/м (40 дБмкВ/м). С учетом примерного значения антенного эффекта  $AF = -40$  дБ на силовые кабели, кабельные вводы или отдельные элементы конструкции этим полем может наводиться напряжение порядка 0 дБмкВ ( $-107$  дБм) при входном сопротивлении приемника 50 Ом). Таким образом, на входе приемника необходимо обеспечить подавление помех в этом диапазоне не менее чем на 60 дБ (например, с помощью ФНЧ).

В трактах ПЧ приемника трудно обеспечить подавление побочного излучения гетеродина более чем на 100 дБ. При мощности сигнала от гетеродина на входе первого преобразователя частоты порядка нескольких милливольт соответствующий уровень высокочастотного (ВЧ) сигнала должен быть более  $-100$  дБм. Сравнивая это значение с возможным уровнем проникающего паразитного излучения, получаем, что в предварительном усилителе

необходимо обеспечить усиление полезного сигнала не ниже 60 дБ при подавлении побочного приема порядка 70, а еще лучше 80 дБ. Кроме того, для защиты от проникающего излучения от РЛС необходимо одновременно обеспечить подавление мешающих сигналов на 100 дБ.

**Измерения ЭМП.** При измерениях ЭМП на стадиях макетирования и лабораторных экспериментов приемник необходимо помещать внутри экранированной камеры. Все работающие поблизости энергосиловые установки и электромоторы вызывают скачки напряжения электрической сети, которые искажают результаты измерений. Надо учесть близко расположенные радиовещательные и телевизионные передатчики. Необходимо предусмотреть экранирование камеры со следующими габаритами: высота 2,5 м, ширина 2,5 м, длина 4 м.

### Литература

1. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. / Под. ред. А. И. Сапгира; Сов. радио, М, 1978. 272 с.
2. Обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. / Под. ред. Смирнова В. В. Балт. гос. техн. ун-т. — СПб., 2008. — 111 с.

## Полунатурное моделирование радиоэлектронных систем

Иванов В.А., кандидат технических наук, доцент; Сотникова Н.В., кандидат технических наук, ст.преподаватель  
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

Очень сложной задачей является оценка эффективности информационных РЭС с учетом разного рода помех, изменения состава источников сигналов и их взаимного расположения. Организация помеховой обстановки в натурном эксперименте с многократным повторением ситуаций довольно затруднительна не только в инженерном, но и в организационном плане. Большое число одновременно воздействующих помех, изменение их состава и характеристик во времени, большие уровни помех на входе РЭС требуют обязательного учета нелинейностей тракта системы, изменения ее структуры (подключение блоков подавления помех, изменение параметров тракта для защиты от помех и т.п.). Учесть всё это при математическом моделировании не представляется возможным.

Один из перспективных путей решения этой задачи — использование метода полунатурного (смешанного) моделирования. При исследовании характеристик РЭС этим методом система работает в штатном режиме, но без излучения высокочастотной энергии, а сигналы и помехи на ее входе создаются специальной аппаратурой в соответствии с заданной обстановкой и динамикой изменения ее во времени [1,2,3]. При этом часть реальных узлов системы может быть замещена их математическими моделями. Достоверность результатов полунатурного моделирования в значительной мере определяется точностью имитации ра-

диообстановки на входе системы и числом ее реальных узлов, участвующих в моделировании.

Общими требованиями, предъявляемыми к моделирующему комплексу для полунатурного моделирования РЭС, являются следующие [1]:

- воспроизведение полезных сигналов и помех, близких по своим параметрам к реальным;
- обеспечение динамики функционирования РЭС в реальном масштабе времени;
- воспроизведение перемещений источников сигналов и помех;
- воспроизведение условий распространения радиоволн в пространстве;
- достаточная точность воспроизведения параметров сигналов и помех;
- простота смены условий исследования, надежность и т.д.

При этом не следует стремиться создать в моделирующем комплексе сигналы и помехи, точно соответствующие по своим параметрам реальным. Надо точно воспроизводить лишь основные характеристики и пренебрегать воспроизведением несущественных характеристик сигналов и помех. Это упрощает моделирующий комплекс и практически не сказывается на результатах моделирования.

Особо жесткие требования предъявляются к точности воспроизведения параметров сигналов, в которых заложена информация об объекте (информация о дальности объекта — в задержке отраженного сигнала, о скорости — в сдвиге несущей частоты принимаемого сигнала и т.д.).

Суммарная среднеквадратическая ошибка определения координат объекта при исследовании РЭС методом смешанного моделирования [1]  $\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2}$ , где  $\sigma_P$  — среднеквадратическая ошибка собственно РЭС;  $\sigma_M$  — среднеквадратическая ошибка моделирующего комплекса при воспроизведении соответствующей координаты объекта в имитируемом сигнале.

Анализ показывает, что если мы допускаем увеличение ошибки РЭС при полунатурном моделировании на 5–10%, то моделирующий комплекс должен воспроизводить соответствующие координаты в 2–3 раза точнее, чем их измеряет исследуемая радиосистема.

В состав типичного моделирующего комплекса [1, 2, 3] входят следующие элементы (рис. 1):

- безэховая камера (БЭК), в которой располагаются динамический стенд (ДС), система излучателей (СИ) и моделируемая РЭС или ее часть;
- имитатор помех (ИП),
- имитатор сигналов,
- аналого-цифровой комплекс (АЦК), к которому подключаются пульт управления и система индикации и регистрации.

Безэховая камера предназначена для размещения динамического стенда и системы излучателей, создания в месте расположения антенны РЭС безэховой зоны с гарантированным малым уровнем рассеянных паразитных сигналов, а также для предотвращения влияния внешних помех на измерения в камере. Основными факторами, определяющими качество БЭК, являются размеры и форма камеры, качество применяемого радиопоглощающего материала (РПМ), качество экранировки камеры. Увеличение размеров БЭК, как правило, улучшает ее качество, но увеличивает стоимость комплекса. Для уменьшения размеров БЭК исследование РЭС проводят при работе антенн в области дифракции Френеля.

Минимальное расстояние между антеннами системы получателей и радиосистемы составляет [3]:

$$r_{\min} = \frac{2\pi(D+d)^2}{\Delta\varphi \cdot 8\lambda},$$

где  $\varphi$  — допустимая фазовая ошибка в раскрые антенны РЭС из-за сферичности фронта волны антенны имитатора сигнала или помехи;  $D$  и  $d$  — раскрые антенн РЭС и системы излучателей;  $\lambda$  — длина волны. При  $\Delta\varphi = \pi/8$ , в сантиметровом диапазоне волн,  $r_{\min} = 15–20$  м.

Качество безэховой зоны оценивают по величине коэффициента безэховости ( $K_{бэ}$ ), который представляет собой усредненное по безэховой зоне камеры отношение

мощности, рассеянной камерой ( $P_{\text{рас}}$ ), к мощности прямой волны ( $P_{\text{пр}}$ ):

$$K_{бэ} = 101 \lg (P_{\text{рас}}/P_{\text{пр}})$$

Обычно требуемая величина  $K_{бэ}$  составляет 35–40 дБ. Покрытие внутренней поверхности камеры поглощающим материалом позволяет снизить уровень мощности паразитных полей на 15–25 дБ. Дальнейшее улучшение качества камеры достигается путем замены плоских ее поверхностей рельефными [3].

Большинство камер делаются экранированными. Эффективность экранирования в 80 дБ достигается с помощью однослойного металлического экрана, а в 100 дБ — с помощью двойного экранирования.

Динамический стенд используется для испытаний РЭС, устанавливаемых на подвижных носителях, и служит для имитации угловых движений носителя относительно центра масс. Конструкция, размеры стендов, типы исполнительных устройств, приводящих их в движение, могут быть различными. Решающими являются частотные и точностные характеристики стенда, определяемые видом его передаточной функции по скорости и положению, а также ее параметрами. Динамический стенд по каждому каналу (тангажа, рыскания, крена) должен иметь полосу пропускания, соответствующую собственной частоте моделируемого носителя РЭС по этому каналу. В этой полосе амплитудные и фазовые искажения, вносимые стендом в суммарную частотную характеристику «объект-стенд», не должны превышать 10% амплитуды и фазы моделируемого носителя на соответствующей частоте [1].

Система излучателей предназначена для имитации источников сигналов и помех и их пространственных перемещений в ходе моделирования. Используются системы подвижных и неподвижных излучателей. В первом случае излучающая антенна имитатора устанавливается на каретке, перемещающейся по направляющим специальной формы в соответствии с сигналами управления от АПК. Конструкция получается простой, но возникает проблема подведения высокочастотной энергии к излучателям. Кроме того, сложно воспроизводить быстрые угловые перемещения источников сигналов и помех [2, 3].

Во втором варианте система выполняется в виде набора неподвижных излучателей с электрически управляемыми фазовращателями и аттенуаторами в фидерном тракте этих излучателей. Центр излучения такой системы может перемещаться в зависимости от мощности и фазы колебаний, излучаемых отдельными антеннами. Этот вариант достаточно сложен и пока редко применяется на практике.

Аналого-цифровой комплекс включает в свой состав аналоговые и цифровые ЭВМ и служит для управления работой всех элементов моделирующего комплекса, их контроля, моделирования работы отдельных узлов и оценки показателей качества радиосистемы.

Имитаторы сигналов и помех воспроизводят высокочастотные сигналы, близкие по своим основным ха-



Рис. 1. Моделирующий комплекс

рактическим к реальным. Управление этими характеристиками осуществляется аналого-цифровым комплексом.

Полунатурное моделирование позволяет уточнить результаты аналитических расчетов показателей качества

РЭС, их математического моделирования, а также сократить объем дорогостоящих натурных испытаний. Однако результаты полунатурного моделирования нуждаются в проверке натурным экспериментом, кроме того, моделирующий комплекс очень сложен и дорог.

### Литература

1. Основы инженерных исследований радиосистем: учеб. пособие / А.Ю. Ильин [и др.]; Ленингр. мех. ин-т. Л., 1991. 148 с.
2. Петров, Г.М. и др. Метода моделирования систем управления на аналоговых и аналого-цифровых вычислительных машинах. М.; Машиностроение, 1975. 256 с.
3. Тверской, Г.Н; и др. Имитаторы эхо-сигналов судовых радиолокационных станций. Л.: Судостроение, 1973. 224 с.

## Автоматизация процесса проектирования космических аппаратов с использованием численных методов

Анисимов А.В., магистрант; Сурменок П.А., магистрант

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева (г.Красноярск)

На начальном этапе проектирования КА, как правило, имеется ограниченный набор исходных данных, содержащий в себе требования к проектируемому аппарату. Основной задачей этого этапа является формирование массива составов КА, с целью создания аппарата, который бы выполнял возлагаемые на него функции, укладываясь в ограничения по ресурсам (массе, цене, надежности).

Особенность проектирования КА состоит в том, что существует такое разнообразие объектов, что попытки получить обобщенные зависимости встречаются большие трудности из-за многообразия задач и требований.

Особенность проектирования КА заключается также в том, что практически отсутствуют теоретические работы,

связанные с выбором параметров и логикой процесса их проектирования на этапе предэскизных разработок. В частности, наиболее важным и сложным является вопрос о выборе основных проектных параметров КА.

Процесс проектирования КА представляет собой многоуровневый итерационный процесс, в течение которого рассчитываются характеристики аппарата и его массовая сводка. Для того чтобы организовать такой процесс, необходимо разработать логику и технологию его.

Первоначально необходимо определить по каким критериям мы будем оценивать удачность выбора конструкции. При проектировании КА — это, как правило, масса, стоимость, надежность. Соответственно первый этап — это качественная, а затем количественная оценка



всех учитываемых критериев. При построении функции оценки КА можно пользоваться как экспертными оценками важности критериев, так и статистическими, накопленными за время работы.

Учитывая все многообразие вариантов наборов решений, подходящих для формирования КА с учетом всего множества ограничений по критериям, мы можем получить массив решений, который затем необходимо будет оптимизировать.

После проведения оптимизации необходимо провести обратную связь для уточнения коэффициентов критериев, что обеспечивает при накоплении большого объема статистических данных более точную и быструю работу алгоритма. Наиболее эффективно алгоритм поиска допустимых решений может себя показать при использовании его с полной базой знаний объектов. В этом случае, решения можно будет использовать на дальнейших шагах проектирования.

В процессе проектирования КА возникает необходимость в математической постановке задачи оптимизации его проектных параметров при существовании нескольких критериев, характеризующих многосторонние аспекты его разработки и функционирования.

На этапе оптимизации необходимо провести количественную оценку важности критериев, используемых для ограничения конструкции (масса, стоимость, надежность и др.). Первоначально, без накопленного опыта и статистических данных, можно использовать данные, полученные с помощью математического аппарата и/

или с использованием результатов работы экспертов по каждому типу КА. Результатом оценки важности критериев получается система уравнений целевых функций вида:

$$F_i = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_n X_n,$$

где  $F_i$  — значение целевой функции по каждой системе,  $i$  — количество систем в составе КА,  $\alpha_n$  — коэффициент значимости  $n$ -го критерия,  $X_n$  — величина  $n$ -го критерия. Причем, сумма всех  $X_n$ , каждого уравнения должна соответствовать ограничениям, наложенным на величину этого критерия (это условие проверяется на этапе формирования массива решений).

Для каждого варианта КА проводится оценка целевой функции и делается выборка нескольких наиболее удачных решений. Эти решения ранжируются в порядке важности удовлетворения критериям.

Учитывая, что для решения такой сложной задачи используется большое число уравнений, исходных данных и численных значений, входящих в уравнения коэффициентов, необходимо применение ЭВМ.

Автоматизация процесса проектирования позволяет ускорить процедуру поиска оптимального или допустимого (в случае невозможности определения оптимального) решения. Кроме того, использование алгоритма оптимизации, основываясь на единую базу данных, в комплексе с инструментами конструирования позволяет ускорить процесс проектирования КА в целом.

## Построение базы данных по свойствам нанотрубок и материалов

Еркимбаев А.О., кандидат технических наук; Зицерман В.Ю., кандидат физико-математических наук;  
Кобзев Г.А., доктор физико-математических наук; Трахтенгерц М.С., кандидат технических наук  
Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

Интерес к нанотрубкам углерода определяется их уникальными свойствами, особенно для углеродных нанотрубок (УНТ), графена, нанодIAMON, что сулит перспективы создания новых устройств. Наряду с «популярными» нанотрубками (УНТ, фуллерены), объектом интенсивных исследований стали объемные формы, прежде всего наногРАФИТ, на основе которого созданы различные классы наноматериалов: волокна, стеклоподобный углерод, композиты и др. Макроскопические вещества синтезированы также на базе фуллеренов и частичек алмаза, выступающих в роли наноструктурных единиц [1, 2].

Множество изученных форм, в сочетании с потоком данных о вновь синтезированных определяют актуальность создания справочно-аналитических материалов и компьютерных БД. В то же время специфика предмета сильно сказывается на объеме и качестве данных, что проявляется в разбросе результатов измерений, и частой

смене номенклатуры понятий и характеристик. Поэтому созданию БД предшествовала методическая работа с целью сформулировать общие принципы систематизации данных для наноструктур, включая возможности: (1) описания произвольных нанотрубок; (2) хранения и распространения данных разной структуры и формата.

В работах авторов [3–5] показано, что информацию по свойствам наноразмерных объектов невозможно встроить в жесткую структуру данных; возникает необходимость варьировать идентификацию и номенклатуру характеристик в зависимости от разновидности объектов. Реализация этого требования легла в основу технологии построения теплофизических БД широкого профиля [4, 5], обеспечивающих хранение и обработку данных: для материалов произвольного состава и структуры, как и для молекулярных единиц (молекулы, кластеры, структуры типа УНТ и проч.); для представления свойств при различном формате данных; для адекватного учета сово-



Рис. 1. Типовая схема организации данных

купности дополнительных (экстра-) факторов (структура и конфигурация образца, технология изготовления, внешние поля и т.п.). Отличительная черта таких БД способность к настройке на произвольную предметную область с характерной для нее спецификой объектов. Их использование преодолевает ограничения, присущие традиционным БД: ориентация на определенный класс веществ; однозначность их идентификации (по формуле или наименованию); фиксированный перечень свойств и структура записи. Для проектирования БД использовалась технология *полуструктурированных* данных (ПСД), чья логическая структура подвержена вариациям при переходе между разными записями [3, 6, 7]. Среди причин вариации: различия физических свойств различных объектов; зависимость номенклатуры свойств от физической модели; различия в способах представления данных; расширение требований к идентификации объекта. Главная особенность структуры ПСД, что **она не может быть предугадана, то есть, априорная схема всегда заменяется апостериорной.**

С использованием ПСД разработана концептуальная модель для наноструктур углерода, обладающая «устойчивым каркасом» и способная к настройке на различные классы с характерной для них номенклатурой признаков и свойств, рис. 1.

Совокупность характеристик, определяющих специфику объектов, распределена по двум блокам: «идентификация» и «свойства».

Блок «идентификация» обеспечивает выделение формы по топологии, гибридизации, химическим формулам (брутто и элементарного звена) и совокупности детализирующих «экстра-факторов». Основу идентификации нанотехнологии составляет классификационная схема. Для столь многообразного семейства, как нанотехнология, классификация по одному-двум физическим признакам невозможна. Например, гибридизации  $sp^3$ , помимо алмаза, отвечают еще два аллотропа, лонсдейлит и кубан, которые при той же топологии и гибридизации радикально отличаются по кристаллической структуре. Естественно, это многообразие нарастает при переходе на наноуровень. Скажем, для различения типов наноалмаза указывается его происхождение (минеральное, детонационный синтез, метеоритное), морфологические признаки (сферическая или фуллереноподобная форма, полиэдрический тип, наноалмазная пленка и др.), размер, измеряемый в числе атомов или в нм, и т.п. [2, 8]. В качестве идентификатора необходима и формула элементарного звена, поскольку алмазные структуры могут формироваться не только из атомов, но и молекул, скажем, того же фуллерена. Как следствие, классификация, а точнее, схема идентификации нанотехнологий должна удовлетворять двум требованиям: (1) включать достаточно большой набор признаков для выделения каждой из форм; и (2) допускать перестройку набора признаков в зависимости от класса объектов.

Кроме основных признаков (название, топологический индекс, гибридизация), в данной работе предусмотрено еще два блока. Блок под названием «уровень» разделяет объекты различной природы. На макроуровне рассматриваются объекты с числом частиц порядка  $10^{23}$ , на микроуровне – одиночные частицы (атомы, молекулы  $C_n$ , с небольшим числом атомов  $n = 2 \div 10$ ), на мезоуровне – объекты промежуточного масштаба и природы (кластеры, наноструктуры, пленки и т.п.). Естественно, что набор идентификаторов для наноматериалов (макроуровень) заметно отличается, включая, например, данные по фазе, от набора для объектов микро- или мезоуровня. Второй блок, «экстра-факторы», конкретизирует морфологию, состояние объекта, предысторию образца (происхождение, метод изготовления), внешние факторы (поля, химическое или термическое воздействие и проч.).

Информация о свойстве распределена по блокам: собственно «численные данные» и «метаданные» (*данные о данных*). Применительно к свойствам наноструктур метаданные, помимо тривиальных функций (название, обозначение, единицы измерения), конкретизируют метод измерения (или оценки), точное определение физической величины и форму представления неопределенности. Последний элемент на Рис. 1 конкретизирует представление данных как для самого свойства, так и для его неопределенности, что необходимо при выборе начал отсчета и стандартных состояний, температурных шкал и т.п. Блок «численные данные» предназначен для хранения данных о свойствах и их неопределенности в виде таблиц или уравнений. Элемент «значения неопределенности» зависит от информации, заложенной в метаданных (константа или таблица в зависимости от того, задана ли погрешность на весь набор или в каждой опытной точке).

Ключевая особенность наноструктур – сильная зависимость свойств от технологии изготовления, так что метод синтеза иногда трактуют как ведущий признак, выделяющий класс [9]. Как следствие, для публикуемых данных

характерно смешение сведений о свойствах и способах получения с детализацией кинетических факторов, режимных характеристик и т.п. С другой стороны, неопределенность в данных сказывается на реализации наноустройств, определяя воспроизводимость и разброс характеристик.

Это обстоятельство, как и общий интерес к потенциалу использования наноглерода, явилось основанием совместить информацию о свойствах, приложениях и получении наноглерода в рамках единой БД. В блоках, показанных на Рис. 1, сведения о приложениях и способах получения могут быть представлены как в виде обычных наборов текстовой и графической информации, так и в формализованном виде, используемом в **классификаторах**. При этом создаваемый классификатор должен носить открытый характер, допуская расширение перечней и их подстройку к определенным классам объектов.

Предложенная технология использует свободно расширяемую БД PostgreSQL [10, 11], которая сочетает традиционные модели с хранением ПСД. Относительная устойчивость «каркаса», описанная выше, оправдывает использование средств, наследующих особенности традиционных и расширяющей их возможности за счет использования специальных инструментов. Отличительная особенность PostgreSQL – богатство типов данных: символьных, числовых (произвольной точности), «больших объектов», композитных типов (объединяющих элементарные типы) и ряд других. Ее функциональные возможности позволяют эксперту по свойствам веществ, не владея инструментарием БД, создавать специализированные типы данных.

На данном этапе БД содержит фонд данных по фуллеренам, их конденсированным фазам и наноалмазу. Критерием выбора компонентов была доступность термодинамических свойств и возможность отработать технологию хранения при разных формах представления и номенклатуры характеристик.

## Литература

1. Покропивный В.В., Ивановский А.Л. Новые наноформы углерода и нитрида бора // Успехи химии. – 2008. Т. 77. – №10. – С. 899.
2. Беленков Е.А., Ивановская В.В., Ивановский А.Л. Наноалмазы и родственные углеродные наноматериалы. // Компьютерное материаловедение. Екатеринбург: УрО РАН, – 2008. – 169 с.
3. Еркимаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А. Роль метаданных в создании и использовании информационных ресурсов о свойствах веществ и материалов // Научно-техническая информация. Серия 1. Организация и методика информационной работы. Ежемесячный научно-технический сборник. – 2008. – №11. – С. 13.
4. Еркимаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Фокин Л.Р. Логическая структура физико-химических данных. Проблемы стандартизации и обмена численными данными // Журнал физической химии. – 2008. – Т.82. – №1. – С. 20.
5. Еркимаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Фокин Л.Р. Технология построения открытой БД по свойствам наноразмерных объектов. Теплофизические свойства веществ и материалов. // Труды XII Российской конференции по теплофизическим свойствам веществ. 7–10 октября 2008 г., Москва. Ред. И.И. Новиков, В.В. Рошупкин. – М.: Интерконтакт Наука, – 2009. – С. 123.
6. Гринев М. Системы управления полуструктурированными данными // Открытые системы. – 1999. – №05–06.
7. Коголовский М.Р. Энциклопедия технологий баз данных. М.: Финансы и статистика, – 2002. – 798 с.

8. Hu Y., Shenderova O.A., Brenner D.W. Carbon Nanostructures: Morphologies and Properties // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. – 2007. – V. 4. – No 2. – P. 199.
9. Суздалев И.П. Нанотехнология : физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: – 2009. – 589 с.
10. О. Бартунов. Что такое PostgreSQL? – Электронное издание [www.citforum.ru/database/postgres/what\\_is/](http://www.citforum.ru/database/postgres/what_is/)
11. Шенинг Г.Ю., Гешвинде Э. Разработка WEB-приложений на PHP и PostgreSQL. Руководство разработчика и администратора. – М.: «ДИАСОФТ», – 2003. – 598 с.

*Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 10–08–00623а.*

## Принципы проектирования систем автоматизации повышенной отказоустойчивости и надежности

Требухин А.Г., аспирант

Тверской государственный технический университет

*В условиях непрерывного совершенствования и усложнения технологических процессов крайне важной задачей становится разработка методов повышения достоверности преобразования измерительной информации, алгоритмов многоступенчатой аналоговой, цифровой и логической фильтрации сигналов, а также базы правил, определяющих поведение системы автоматизации в условиях неопределенности. Статья посвящена описанию алгоритмов, позволяющих увеличить надежность центрального узла всех систем автоматизации – микропроцессорного контроллера.*

В современных технологических процессах большую роль играют информационно-измерительные системы. Сравнительно недавно в промышленности стали применяться гибкие автоматизированные информационные системы сбора, интерпретации и первичного анализа данных, центральным узлом которых является способный реализовывать сложнейшие алгоритмы обработки сигналов микропроцессор. В реальных условиях на такие системы воздействует окружающая среда, что проявляется в наличии многочисленных механических и электрических помех. Кроме того, существуют ситуации, в которых контроллер системы сбора информации должен реагировать на какие-либо события в течение кратчайшего промежутка времени (долей микросекунд и др.).

Во многих случаях сигналом измерительной информации является время регистрации какого-либо импульсного сигнала. К примеру, принцип действия ультразвуковых уровнемеров основан на определении уровня жидкости по времени распространения импульсов ультразвуковой частоты. В момент времени  $T_0$  ультразвуковой передатчик излучает сигнал — пачку импульсов продолжительностью  $\Delta t$ , которая распространяется в окружающей среде со скоростью звука. Когда сигнал достигает объекта, то его часть отражается и приходит в приёмник в момент времени  $T_1$ . Электронная схема устройства обработки сигнала определяет расстояние до объекта, измеряя время  $T_1 - T_0$ . Недостатком этого метода является относительно большое минимальное расстояние обнаружения: отражённые сигналы от объектов, расположенных очень близко к датчику, поступают раньше окон-

чания спада импульса излучателя и по этой причине не могут быть обработаны. Любая помеха может быть принята в качестве сигнала измерительной информации и, таким образом, датчик будет определять несуществующее значение.

Другой пример — поплавковый магнитострикционный датчик уровня. Принцип действия этих уровнемеров основан на эффекте магнитострикции. Микроконтроллер выдает импульс тока в катушку чувствительного элемента датчика, выполненного в виде длинной стальной проволоки. Под действием магнитного поля магнита, надетого на проволоку — звукопровод поплавка, и импульса тока катушки, намотанной на звукопровод, возникает импульс деформации, который, распространяясь по звукопроводу вверх, достигает пьезоэлектрического преобразователя. В датчиках измеряется время от формирования импульсов тока до момента приема импульсов упругой деформации, принятых и преобразованных пьезоэлектрическим преобразователем. Это позволяет определить расстояние до местоположения поплавка, определяемого положением уровня жидкости. [1]

Таким образом, вышеуказанные датчики фиксируют время пребывания импульсного сигнала, распространяющегося со скоростью звука. Ширина таких импульсов составляет несколько микросекунд. Следовательно, для их уверенного распознавания контроллер датчика должен производить вычисления, включающие в себя математические преобразования и проверку функционально-логических критериев, в течение долей микросекунд. Современным процессорам это не составляет трудности, но в условиях производственного шума, вибрации, электри-

ческих и магнитных помех данная задача может привести к некорректной работе программного обеспечения датчика, искажению результатов и др.

Далее приводятся успешно применяемые на практике алгоритмы проектирования «интеллектуальных» микропроцессорных систем автоматизации, разработанные с целью увеличения надежности, помехозащищенности преобразователей информации и повышения точности извлечения данных из временных интервалов распространения импульсных сигналов.

### 1. Защита от импульсных помех на аппаратном уровне

Одним из самых высокопроизводительных и надежных микропроцессоров является микроконтроллер AVR (рис.1). В нем предусмотрено наличие специального вывода ICP (Input capture pin, порт PD6) – вывода захвата на входе. Опрос такого входа производится при каждом инкременте содержимого аппаратного таймера-счетчика. К примеру, если в системе используется кварцевый резонатор, задающий частоту 11,0592 МГц, а коэффициент деления таймера выбран равным 8, то частота таймера составляет  $11,0592 \text{ МГц} / 8 = 1,3824 \text{ МГц}$ , и период опроса данных на дискретном входе равен  $1 / 1382400 \text{ мкс} = 0,7 \text{ мкс}$ . При ширине импульсов, равной (7–10) мкс, на один импульс приходится 10–15 отсчетов таймера, что вполне удовлетворяет требованиям четкого распознавания переднего и заднего фронтов каждого импульса. [2]

Основное преимущество от использования ИСР — наличие встроенной автоматической логической фильтрации данных, поступающих на этот вывод. Импульсы длительностью менее 4 тактов таймера (3 мкс) игнорируются. То есть, запись времени в тактах поступления переднего фронта импульса на вывод ИСР произойдет только в том случае, если будут распознаны четыре последовательных высоких уровня сигнала на этом выводе. Таким образом, импульсные помехи длительностью менее 3 мкс подавляются на аппаратном уровне, что позволяет не учитывать их при разработке алгоритмов обработки данных. Кроме того, при изменении уровня сигнала на выводе ИСР генерируется аппаратное прерывание, что существенно упрощает процесс написания исходного кода программного обеспечения и делает его более структурированным.[2]

## 2. Применение адаптивных алгоритмов предсказания сигнала на шаг вперед

Во многих случаях полезно сравнить полученное значение сигнала измерительной информации с заранее спрогнозированным с целью исключения выбросов и неопределенностей в показаниях датчика. Большинство известных приемов прогнозирования значения целевого сигнала используют методы экстраполяции. Но следует выделить ситуации, при которых измерительную информацию несут в себе такие физические параметры, как

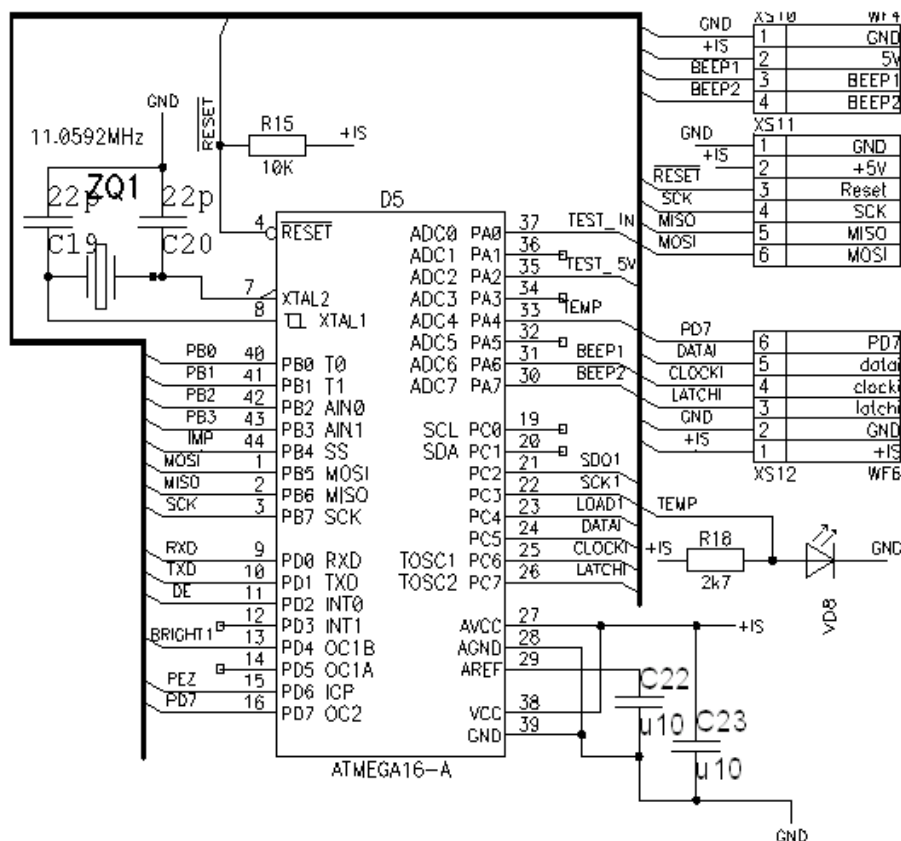


Рис. 1. Микроконтроллер AVR Atmega16–16AU



время распространения звуковой волны, скорость электромагнитных волн в среде и др. В этих случаях между двумя измерениями проходит интервал в несколько микросекунд, что крайне недостаточно для надлежащей обработки сигналов даже самыми быстрыми процессорами. Кроме того, различные механические воздействия на измерительную систему, проявляющиеся в виде кратковременных импульсных помех, делают невозможными применение для реализации функции предсказания методов экстраполяции.

Одним из самых эффективных алгоритмов прогнозирования текущего значения сигнала по двум предыдущим является применение адаптивных решеток. На рисунке 2 представлена схема этой структуры, причем весовые коэффициенты ( $K_0$  и  $K_1$ ) являются переменными во времени. [4, с. 262–268]

Для рассматриваемой схемы рекуррентные соотношения имеют вид:

$$E[0,k]=X[k-1] \quad (1)$$

$$E1[0,k]=X[k-1]$$

$$E[1,k]=E[0,k]+K_0 \cdot E1[0,k-1]$$

$$E[2,k]=E[1,k]+K_1 \cdot E1[1,k-1]$$

$$E1[1,k]=K_0 \cdot E[0,k]+E1[0,k-1]$$

$$E1[2,k]=K_1 \cdot E[1,k]+E1[1,k-1]$$

После одной итерации вычислений следует внести поправку в величину коэффициентов  $K_0$  и  $K_1$ :

$$K_0 = K_0 - 2 \cdot m_0 \cdot E[1,k] \cdot E1[0,k-1] \quad (2)$$

$$K_1 = K_1 - 2 \cdot m_1 \cdot E[2,k] \cdot E1[1,k-1]$$

Коэффициенты  $m_0$  и  $m_1$  не являются функциями времени, но их рекомендуется задать равными (0.8–0.9) и постепенно уменьшать до значения (0.1–0.2).

Для прогнозирования очередного значения сигнала  $X_k$ , мерой которого является  $Y_k$ , используется формула [2]:

$$Y[k] = -K_0 \cdot (K_1 + 1) \cdot X[k-1] - K_1 \cdot X[k-2] + E[2,k]$$

### 3. Цифровая обработка сигналов с целью устранения высокочастотных шумов

Все алгоритмы цифровой обработки сигналов, как правило, — блочного типа, построены на сколь угодно сложных комбинациях достаточно небольшого набора

типовых цифровых операций, к которым относятся рекуррентные вычисления, фильтрация и функциональные преобразования. Задача цифровой фильтрации в большинстве случаев имеет цель выделить цифровым вычислительным устройством (ЦВУ, микропроцессором) полезного сигнала (как правило, низкочастотного), или, что равноценно, удаление высокочастотного шума из входного сигнала. [5]

Основными достоинствами цифровых фильтров являются:

1. наличие параметров, реализация которых невозможна в аналоговых фильтрах, например, линейной фазовой характеристики, простота программной реализации;
2. отсутствие необходимости периодического контроля и калибровки, т.к. работоспособность фильтров не зависит от дестабилизирующих факторов внешней среды;
3. один фильтр может обрабатывать несколько входных каналов;
4. входные и выходные данные можно сохранять для последующего использования;
5. точность цифровых фильтров ограничена только используемой разрядностью отсчетов (длиной слов);
6. фильтры могут использоваться на очень низких частотах и в большом диапазоне частот, для чего достаточно только изменять частоту дискретизации данных.

Самым распространенным алгоритмом выделения полезного сигнала на фоне высокочастотных помех является метод наименьших квадратов (МНК). Простейший способ аппроксимации по МНК произвольной функции  $s(t)$  — с помощью полинома первой или второй степени, т.е. функции вида  $y(t) = A + Bt + Ct^2$ . Для определения коэффициентов полинома необходимо найти минимум функции приближения (функцию остаточных ошибок). С учетом дискретности данных по точкам  $t_n = n\Delta t$ , функция остаточных ошибок записывается в форме:

$$\sigma(A,B,C) = \sum_{n=-N}^N [s_n - (A + B \cdot n + C \cdot n^2)]^2.$$

Система уравнений после дифференцирования выражения (3.2.1) по  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и приравнивания полученных выражений нулю:

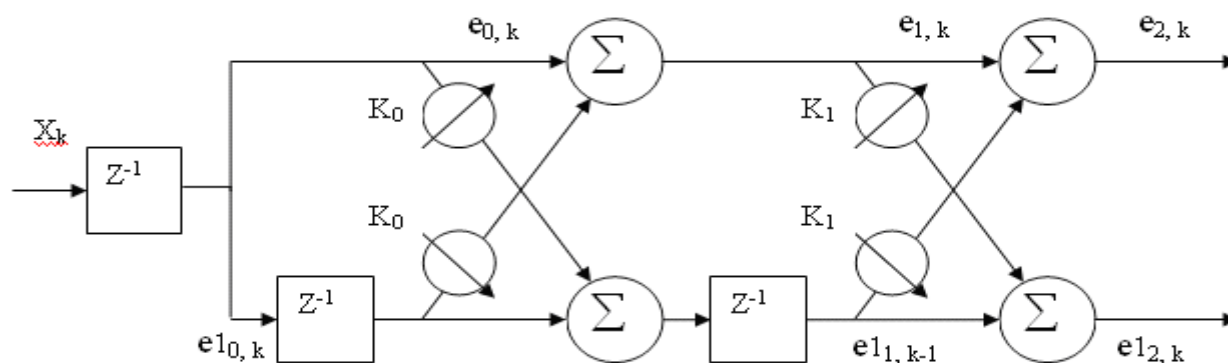


Рис. 2. Структура адаптивной решетки прогнозирования сигнала

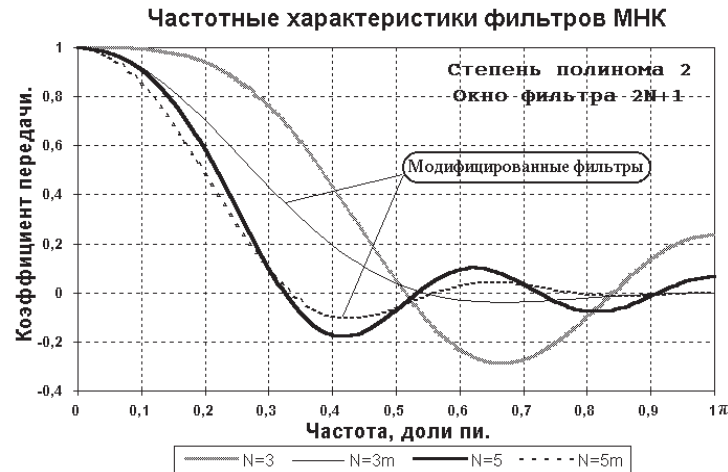


Рис. 3. Частотная характеристика фильтров МНК второго порядка

$$A \sum_{n=-N}^N 1 + B \sum_{n=-N}^N n + C \sum_{n=-N}^N n^2 = \sum_{n=-N}^N s_n.$$

$$A \sum_{n=-N}^N n + B \sum_{n=-N}^N n^2 + C \sum_{n=-N}^N n^3 = \sum_{n=-N}^N n \cdot s_n.$$

$$A \sum_{n=-N}^N n^2 + B \sum_{n=-N}^N n^3 + C \sum_{n=-N}^N n^4 = \sum_{n=-N}^N n^2 \cdot s_n.$$

Решая систему уравнений относительно A, получаем:

$$A = \left\{ \sum_{n=-N}^N n^4 \sum_{n=-N}^N s_n - \sum_{n=-N}^N n^2 \sum_{n=-N}^N n^2 s_n \right\} / \left\{ \sum_{n=-N}^N 1 \sum_{n=-N}^N n^4 - \left[ \sum_{n=-N}^N n^2 \right]^2 \right\}.$$

При распространении последнего выражения для 5-ти точечного МНК:

$$y_0 = (17 \sum_{n=-2}^2 s_n - 5 \sum_{n=-2}^2 n^2 s_n) / 35 = (-3 \cdot s_{-2} + 12 \cdot s_{-1} + 17 \cdot s_0 + 12 \cdot s_1 - 3 \cdot s_2) / 35, \text{ или в рекуррентной форме } Y[k] = 1/35(-3X_{k-2} + 12X_{k-1} + 17X_k + 12X_{k+1} + 3X_{k+2}).$$

Подставляя значение  $s_n = e^{j\omega n}$  и объединяя комплексно сопряженные члены, получаем частотную характеристику 5-ти точечного сглаживающего фильтра МНК второго порядка [5]:

$$H(\omega) = 1/35(17 + 24 \cos(\omega) - 6 \cos(2\omega))$$

Указанную частотную характеристику можно оптимизировать, полагая, что на границе допустимого интервала дискретизации ее значение равно 0, то есть  $H(\pi) = 0$ :

$$H(\pi) = 1/a(17 + 24 \cos(\pi) + b \cos(2\pi)) = 0, \text{ где}$$

a — сумма модулей коэффициентов частотной характеристики фильтра;

b — неизвестный параметр.

После вычислений получаем:

$$17 - 24 + 2b = 0; b = 3.5; a = 17 + 24 + 3.5 = 44.5$$

В результате окончательных преобразований (приведением параметра b к целому числу, умножая его на 4) получаем скорректированную частотную характеристику фильтра:

$$H(\omega) = 1/178(68 + 96 \cos(\omega) + 14 \cos(2\omega))$$

Как видно из рисунка 3, полоса частот пропускания такого фильтра лежит в диапазоне (0.2–0.3) частоты дискретизации, что позволяет с большой точностью устранить шумовую составляющую, частота которой в десятки раз превышает частоту дискретизации.

#### 4. Цифровая обработка сигналов с целью устранения низкочастотных шумов

В современных компьютерных сетях и системах дистанционной передачи и обработки информации большое значение имеет достоверность передачи сигнала. В большинстве случаев частотный спектр помехи намного отличается от частотного спектра полезного сигнала. При этом достаточно применить обычный цифровой фильтр низких частот. Но существуют системы, в которых частотные спектры полезного сигнала и помехи перекрываются, то есть являются сопоставимыми — низкочастотными. Например, линия связи искажает передаваемые сигналы из-за того, что ее физические параметры отличаются от идеальных: медные провода всегда представляют собой некоторую распределенную по длине комбинацию активного сопротивления, емкостной и индуктивной нагрузок.

Целью устранения низкочастотных помех является определение частотных характеристик линейного фильтра, входной сигнал которого — зашумленный сигнал

$\hat{f}(t) = x_{\text{пол}}(t) + x_{\text{случ}}(t)$ , а выходной — процесс  $\beta(t)$  с известными (заданными аналитически) вероятностными характеристиками (спектральной плотностью) по соотношению  $S_{\beta}(\omega) = S_f(\omega) \cdot |W_{\phi}(j\omega)|^2$ , где  $S_{\beta}(\omega)$  — желаемая спектральная плотность сигнала на выходе фильтра,  $S_f(\omega)$  — спектральная плотность случайного процесса  $\hat{f}(t)$ ,  $|W_{\phi}(j\omega)|$  — АЧХ фильтра.[3]

Таким образом, комплексное использование всех

рассмотренных методов позволяет резко сократить вероятность отказов автоматизированных информационно-измерительных систем, одновременно увеличив надежность и достоверность происходящих в них вычислительных процессов. Все рассмотренные в статье принципы успешно применены при разработке запатентованного датчика — магнитострикционного двухимпульсного уровнемера [1].

### Литература

1. Патент РФ на полезную модель № 93976. Поплавковый уровнемер / Илясов Л.В., Требухин А.Г.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010610284 «Интеллектуальный микропроцессорный интерпретатор сигналов магнитострикционного преобразователя уровня» / Требухин А.Г.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613764 «Параметрическая идентификация линейного фильтра для подавления помех с частотным спектром, сравнимым с частотным спектром полезного сигнала» / Требухин А.Г., Васильев В.Г.
4. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1989. — 440с.
5. <http://prodav.narod.ru/student/>

## Энергосбережения при утилизации теплоты вентиляционных выбросов в рекуперативном теплообменнике

Узаков Г.Н. кандидат технических наук, доцент  
Каршинский инженерно-экономический институт(Узбекистан)

Вентиляционные выбросы, исходящие из вытяжной вентиляции плодоовощехранилищ содержит заметное количество избыточной по отношению к окружающей среды тепловой энергии. Однако, из-за недостаточного температурного напора вопросы утилизации этой энергии практически не рассматривались. Тепловые выбросы вытяжных вентиляционных систем плодоовощехранилищ характеризуются высокой влажностью и значительным тепловым потенциалом по отношению к атмосферному воздуху. Для холодильной камеры строительным объемом 180 м<sup>3</sup> при хранении яблок зимних сортов тепловой потенциал вентиляционных выбросов оценивается значением 1,7 · 10<sup>4</sup> МВт · ч/год. Эта энергия безвозвратно теряется при выбросы вентиляционного воздуха в атмосферу. В связи с растущим дефицитом энергоресурсов и обострением проблемы охраны окружающей среды в настоящее время вопрос об использовании низкопотенциальной сбросной теплоты вентиляционных потоков в плодоовощехранилищах является актуальной проблемой.

В холодильных камерах главной задачей холодильной установки является охлаждение внутреннего воздуха. При охлаждении холодильной камеры теплота вентиляционных выбросов, которых состоит от трансмиссионных теплопритоков и теплоты «дыхания» продуктов удаляется из камеры холодильным агентом. Однако, в любом холодильном цикле теплота конденсации холодильного агента в конденсаторе сбрасывается при температуре выше окружающей среды. Обычно это тепло сбрасывается в специально со-

оружаемых градирнях при вынужденном охлаждении и безвозвратно теряется в атмосфере. Эту теплоту можно использовать для отопления, предварительного нагрева воды, сушку продуктов перед хранением и т.п [1].

В плодоовощехранилищах комбинированное охлаждение и нагревание с использованием теплонасосной установки (ТНУ) дает заметный экономический эффект, так как сбрасываемой тепло в конденсаторе полезно используется для получения горячей воды с температурой 50 — 60°C. Нами разработана система теплохладоснабжения овощехранилище с ТНУ [2]. В модифицированной установке конденсатор — рекуперативный теплообменник обеспечивает нагрев воды с использованием тепловых выбросов в холодильном цикле. В предложенной системе теплохладоснабжения овощехранилище ТНУ одновременно охлаждает камеры и подогревает воды в конденсаторном узле. Конденсатор 4 установки расположен внутри теплоизолированного водяного бака 6, что обеспечивает нагрев воды для технологических и бытовых нужд овощехранилище (рис. 1).

Предложенная система теплохладоснабжения отличается наличием возможностью охлаждения камеры и одновременного нагрева воды для технологических нужд, увлажнение приточного воздуха, а также утилизации теплоты вентиляционных выбросов и теплоты «дыхания» продуктов в баке-аккумуляторе.

В режиме охлаждения камеры емкостью 24 т яблок зимних сортов в природно-климатических условиях

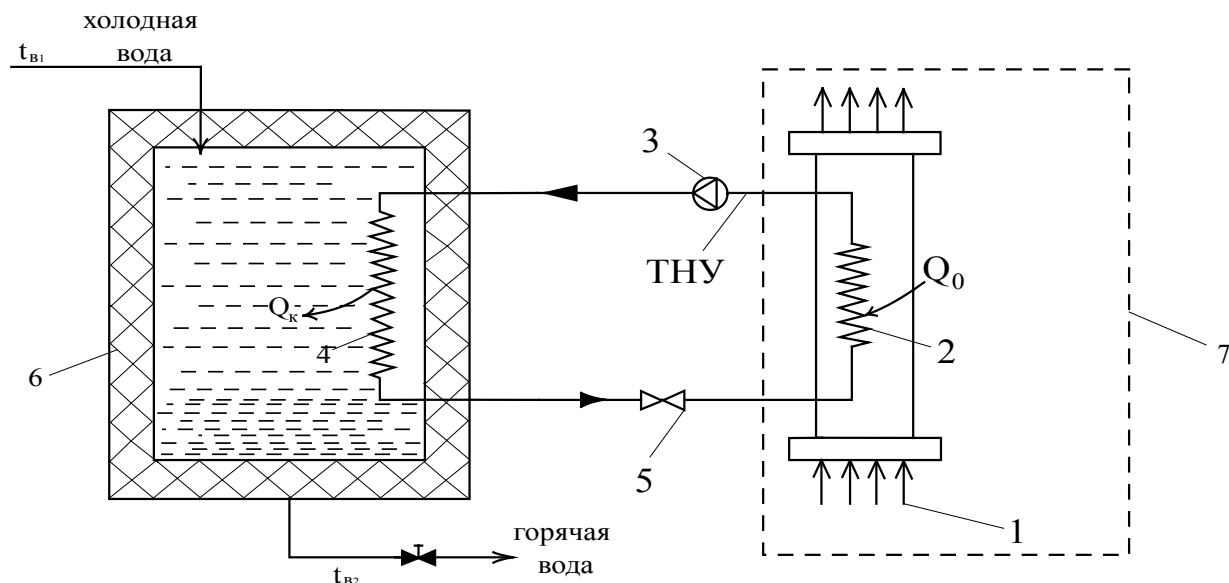


Рис. 1. Схема использования теплоты вентиляционных выбросов и отходного тепла конденсатора ТНУ с одновременным охлаждением холодильной камеры. 1 – вентиляционные выбросы; 2 – испаритель ТНУ; 3 – компрессор; 4 – конденсатор ТНУ; 5 – регулирующий клапан; 6 – теплоизолированный водяной бак; 7 – холодильная камера.

г. Карши тепловая нагрузка на испаритель ТНУ составляет 25 кВт, одновременно 31,9 кВт тепла от конденсатора используется для нагрева воды от 18 до 60°C в баке – аккумуляторе.

В режиме охлаждения камеры количество подогретой воды в конденсаторе ТНУ при  $\Delta t = 42^\circ\text{C}$  можно определить по формуле:

$$G_B = \frac{Q_k}{C_{pw}(t_{g2} - t_{g1})} \quad (1)$$

где  $Q_k$  – тепловой поток от конденсатора, Вт;  $C_{pw}$  – теплоемкость воды, Дж/(кг·К);  $t_{g1}$  – температура холодной воды, °C;  $t_{g2}$  – температура горячей воды, °C.

$$G_B = 0,18 \text{ кг/сек, или } G_B = 648 \text{ кг/час} \approx 0,65 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Использование  $Q_k = 31,9$  кВт сбрасываемого тепло для подогрева воды в конденсаторе позволяет сэкономить за час  $\varphi = \frac{31,9 \cdot 3600}{29310} \approx 4$  кг условного топлива. Количество

подогретой воды за сутки составит – 15,6 м³, а экономия условного топлива 96 кг. Таким образом, в период хранения за счет одновременного нагрева воды в баке – аккумуляторе с утилизацией теплоты вентиляционных выбросов можно сэкономить 17,28 т условного топлива, или 14068 м³ природного газа. В существующих плодоовощехранилищах горячая вода для бытовых и технологических нужд получают обычными электронагревателями сопротивления. При коэффициенте преобразования тепла ТНУ = 3,0 три раза снизит расход электроэнергии

на нагревании воды по сравнению с обычными электронагревателями сопротивления. Для определения экономии электроэнергии за счет нагрева воды конденсатором ТНУ находим потребляемую электрическую мощность электронагревателя при заданной тепловой нагрузке [3].

$$W = \frac{Q_k}{0,95\tau} \quad (2)$$

где  $\eta = 0,95$  – коэффициент, учитывающий потери энергии [4].

Таким образом, экономия электроэнергии за счет нагрева воды конденсатором ТНУ с использованием тепловых выбросов составляет  $W = 33,6$  кВт/ч.

Полученная горячая вода используется для бытовых и технологических нужд овощехранилищ. По нормативным требованиям для опытного овощехранилища ХК – 180 расход горячей воды с температурой не ниже 55°C на бытовые нужды составляет 180–200 л/сут [5]. Подогретая вода также используется на технологические нужды овощехранилища и доувлажнения воздуха для поддержания оптимального влажностного режима холодильной камеры.

Создания оптимального влажностного режима в холодильных камерах является сложным процессом, который требует увлажнения воздуха водой или паром. Доувлажнение воздуха паром требуют большие энергетические затраты, кроме этого при обработке воздуха паром повышается его температура, что нежелательно особенно в режиме охлаждения камеры. Искусственное увлажнение воздуха водой в период охлаждения целесообразно, особенно в южных районах. В разработанной системе теп-

лохладоснабжения с ТНУ в режиме охлаждения камеры теплота конденсации холодильного агента и теплота утилизации вентиляционных выбросов используется в баке — аккумуляторе для подогрева воды в системе увлажнения воздуха. Использование низкопотенциальной теплоты вентиляционных выбросов и теплоты дыхания продуктов позволяет экономить первичную энергию по сравнению с паровым увлажнением воздуха.

Проведенные исследования показывают, что вода, подогретая до 40–50°C в процессе разбрызгивания полностью, без остатка поглощается воздухом, что позволяет экономии воды на увлажнении. В существующих системах доувлажнение воздуха в основном применяются электрические нагревательные установки. Определяем расход воды, необходимую подавать в камеру для поддержания требуемой влажности воздуха и произведем расчет оборудования увлажнения воздуха по следующей методике [6].

Площадь поверхности хранящихся в камере яблок можно найти по формуле

$$F_n = \frac{G_n \cdot 6}{d \rho} \quad (3)$$

где  $G_n = 24 \text{ м}$  — емкость камеры хранения;  $\rho$  — плотность яблок,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho = 960 \text{ кг/м}^3$ );  $d$  — диаметр яблок, м ( $d = 0,06 \text{ м}$ ).

$$\text{Тогда } F_n = \frac{24000 \cdot 6}{960 \cdot 0,06} = 2500 \text{ м}^2.$$

Теплопередающую площадь поверхности воздухоохладителя при расчете по укрупненным показателям можно найти из зависимости

$$F_{\text{во}} = \alpha_n F_c \quad (4)$$

где  $\alpha_n$  — оснащенность камеры хранения воздухоохладителями,  $\text{м}^2/\text{м}^2$  [для камер хранения фруктовых холодильников при малом температурном перепаде между воздухом в камере и температурой кипения ( $\Delta t = 4 \div 6^\circ\text{C}$ )  $\alpha_n = 2,0 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ].

$$\text{Тогда } F_{\text{во}} = \alpha_n \cdot F_{\text{см.р}} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ м}^2$$

Принимаем к установке один воздухоохладитель ВОП-150.

Равновесную относительную влажность воздуха  $\varphi'_k$ , устанавливающуюся в камере при влагонитоке, который поступает только с площади поверхности продуктов, можно определить по формуле [6]:

$$\varphi'_k = \frac{f_{(F)} + \varphi_m M'}{f_{(F)} + M'} \quad (5)$$

где  $M'$  — постоянная величина (для камер хранения  $M' = 1,246$ ).

Соотношение  $f_{(F)}$ , определяемое зависимостью, имеет вид

$$f_{(F)} = \frac{\beta_u F_n}{\beta_0 F_{\text{во}}}, \quad (6)$$

Здесь  $\beta_u$ ,  $\beta_0$  — коэффициенты соответственно испарения с площади поверхности продуктов [для упакованных

в тару яблок  $\beta_u = 0,416 \cdot 10^{-9} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$ ] и конденсации влаги на площади поверхности охлаждающих приборов [для воздухоохладителей из оребренных труб  $\beta_0 = 26 \cdot 10^{-9} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$ ],  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$ .

Находим численное значение

$$f_{(F)} = \frac{0,416 \cdot 10^{-9} \cdot 2500}{26 \cdot 10^{-9} \cdot 150} = 0,27$$

Минимальную относительную влажность воздуха в камере при отсутствии в ней влагонитоков определяют по формуле

$$\varphi_m = \frac{P''_o}{P''_k} \quad (7)$$

где  $P''_o$  — давление насыщенного водяного пара у площади поверхности охлаждающих приборов, Па [при средней температуре площади поверхности охлаждающих приборов (воздухоохладителя)  $t'_0 = -5^\circ\text{C}$   $P''_o = 421,2 \text{ Па}$ ];  $P''_k$  — давление насыщенного водяного пара в воздухе, Па (при  $t'_k = 0^\circ\text{C}$   $P''_k = 610,5 \text{ Па}$ ).

$$\text{Находим } \varphi_i = \frac{421,2}{610,5} = 0,69, \text{ или } 69\%.$$

Тогда равновесная относительная влажность воздуха

$$\varphi_k = \frac{1,12 + 0,69 \cdot 1,246}{1,12 + 1,246} = 0,83, \text{ или } 83\%.$$

Равновесная относительная влажность ( $\varphi'_k = 83\%$ ) меньше, необходимая относительная влажность ( $\varphi_k = 92\%$ ), что требует искусственного увлажнения воздуха.

Массу воды, которую необходимо подавать в камеру для поддержания влажности, можно найти из выражения [7]

$$W_{\text{вкл}} = (\varphi_k - \varphi'_k) \frac{P''_k \beta_0 F_{\text{во}} [f_{(F)} + M']}{M'} = (0,92 - 0,83) \times \\ \times \frac{610,5 \cdot 26 \cdot 10^{-9} \cdot 150 (0,27 + 1,246)}{1,246} = 0,00025 \text{ кг/с} = 0,91 \text{ кг/ч} \quad (8)$$

Необходимое число увлажнителя воздуха

$$n_y = \frac{W_{\text{вкл}}}{g_y} = \frac{0,91}{2} = 0,455 \approx 1 \text{ шт.}$$

где  $g_y$  — расход воды на одну форсунку,  $g_y = 2 \text{ кг/ч}$ .

Принимаем к установке один пневмоводораспылительную форсунку.

При активном вентилировании необходимо также доувлажнение приточного воздуха. Расход воды на доувлажнение  $W'$  (кг/ч) определяется по формуле:

$$W' = G(d_n - d_0) \quad (9)$$

где  $G$  — требуемый расход воздуха,  $\text{кг/ч}$ ;  $d_n$  — влагосодержание воздуха после поглощения избытков тепла,  $\text{г/кг}$ ;  $d_0$  — влагосодержание воздуха после доувлажнения,  $\text{г/кг}$ .



При активном вентилировании 24 т яблочек удельный расход воздуха  $G=70-100 \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$ ,  $\Delta d = 2,2 \text{ г/кг}$ , расходы воды на доувлажнение составляет  $W'=6,8 \text{ кг/ч}$ . С учетом активной вентиляции необходимое количества увлажнителей ( $6,8+0,91=7,71 \text{ кг/ч}$ ) составляет 4 шт.

По результатам исследований и расчетов можно сделать вывод, что теплонасосная утилизация теплоты вентиляционных выбросов позволяет полностью обеспечивать потребности горячей воды для бытовых и технологических нужд овощехранилище. При этом расход воды на увлажнение воздуха уменьшается 1,3 – 1,5 раза.

### Литература

1. Рей. Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы. Пер. с англ. — М.: Энергоиздат, 1982. — 224 с.
2. Узаков Г.Н. Энергосберегающая система увлажнения воздуха в малом овощехранилище. //Вестник ТашГТУ, 2010. — № 3. — с. 32 – 36.
3. Бакластов А.М. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок. — М.: Энергоиздат, 1981. — 336 с.
4. Елистратов П. С. Электрооборудование овощехранилищ. Справочник. — М.: Агропромиздат, 1989. — 201 с.
5. Апарцев М.М. Накладка водяных систем централизованного теплоснабжения: Справочно-методическое пособие. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 204 с.
6. Голянд М.М. Сборник примеров расчетов и лабораторных работ по курсу «Холодильное технологическое оборудование». — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 168 с.

## Методы сейсмоизоляции фундаментов сооружений

Ушаков А.С., бакалавр

Кубанский государственный аграрный университет

В современных конструктивных решениях нельзя повысить сейсмостойкость, только повысив величины сечений, прочность, вес. Конструкция может быть более прочной, но не обязательно экономически эффективной, потому что и вес, и инерционная сейсмическая нагрузка могут увеличиться еще больше. Требуются новые эффективные методы сейсмозащиты. Подобные решения подразумевают изменение массы и жесткости, демпфирование системы в зависимости от ее перемещений и скоростей. На сегодняшний день известно более 100 запатентованных конструкций сейсмоизоляции зданий и сооружений.

Во время землетрясений конструкции фундаментов повреждаются редко. Несмотря на это, значение фундаментов в обеспечении сейсмостойкости зданий велико. Фундаменты первыми воспринимают сейсмические толчки и передают их в верхние части здания. Система «грунт-фундамент» воздействует на изменение динамических свойств здания, что соответственно изменяет величину действующих на него сейсмических нагрузок.

В основании стен сохранившихся памятников архитектуры обнаружены мягкие прокладки (на уровне верха фундаментов) из камышитовых подушек, пластических глин и других местных материалов. Зодчие Средней Азии усиливали ослабленный стык сопряжения фундамента с цоколем. Толщина шва здесь достигала высоты кирпича.

При строительстве мавзолеев в скалистом грунте котлованы заполняли рыхлой землей, песком и фундамент возводили по ним. При таком решении уменьшалась кон-

центрация напряжений в фундаментах, а грунтовая подушка частично гасила высокочастотные колебания грунта при землетрясениях.

Применялись и другие инженерные решения, направленные на снижение воздействий колеблющихся при землетрясениях фундаментов на подземные части зданий. Были предложены катковые опоры, фундаменты со сферическими концами.

В этой статье будут рассмотрены виды пассивной сейсмозащиты фундаментов зданий. Их классификация, по мнению авторов [6,7,8], может быть представлена в виде схемы, представленной на рисунке 1.

В системах сейсмогашения, включающих демпферы и динамические гасители, механическая энергия колеблющейся конструкции переходит в другие виды энергии, что приводит к демпфированию колебаний, или перераспределяется от защищаемой конструкции к гасителю.

В системах сейсмоизоляции обеспечивается снижение механической энергии, получаемой конструкцией от основания, путем отстройки частот колебаний сооружения от преобладающих частот воздействия. Различают адаптивные и стационарные системы сейсмоизоляции. В адаптивных системах динамические характеристики сооружения необратимо меняются в процессе землетрясения, «приспосабливаясь» к сейсмическому воздействию. В стационарных системах динамические характеристики сохраняются в процессе землетрясения.

С позиции принятой классификации ниже приводится обзор методов сейсмозащиты фундаментов соору-

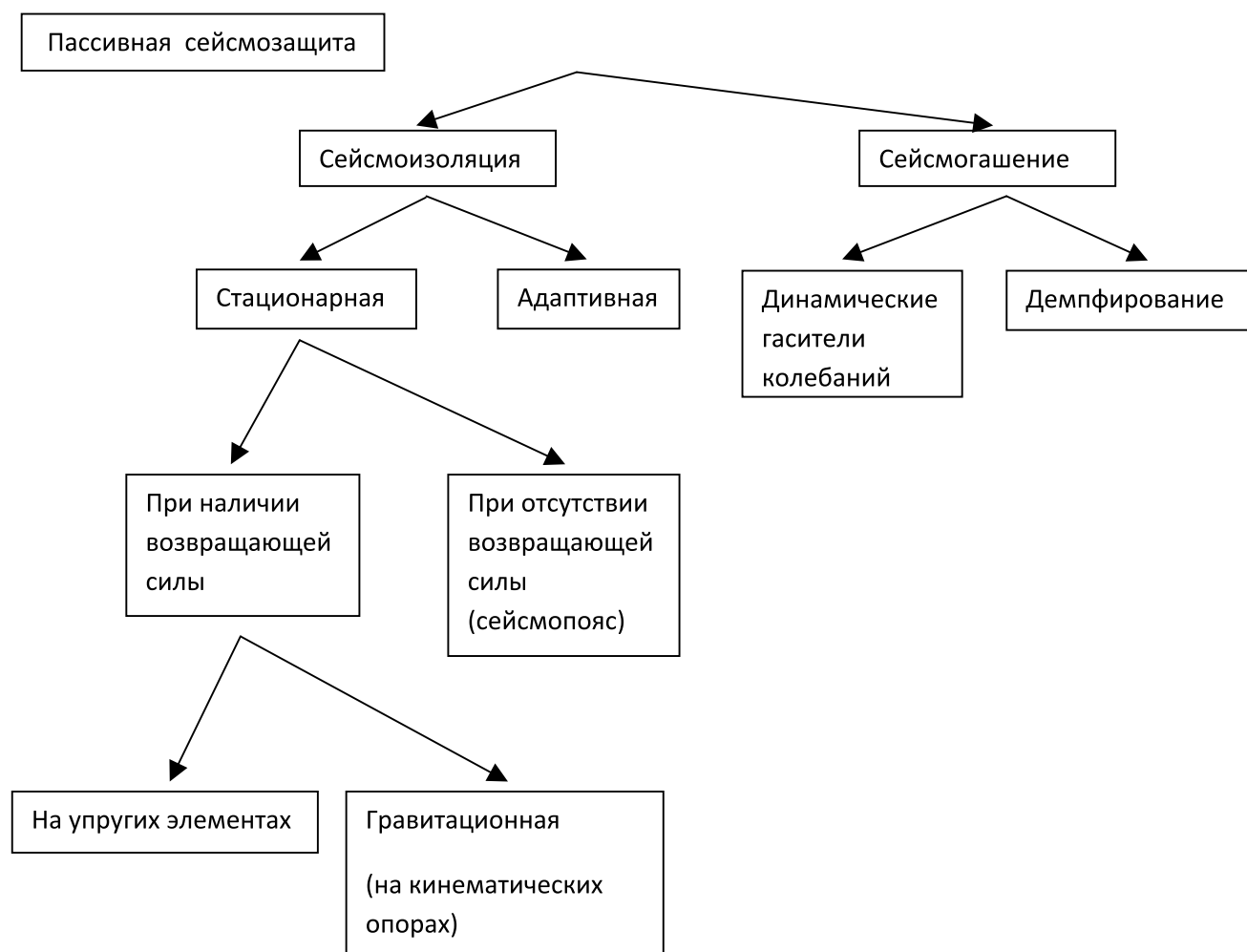


Рис. 1. Классификация систем пассивной сейсмозащиты фундаментов по принципу их работы

жений, выполненный на базе зарубежного и отечественного опыта сейсмостойкого строительства.

Существующие системы сейсмоизоляции на основании принятой выше классификации подразделяются на две группы:

- адаптивные;
- стационарные.

Приведем некоторые конструктивные примеры, иллюстрирующие принцип работы систем сейсмоизоляции.

#### **Стационарные системы сейсмоизоляции фундаментов**

Типичным приемом устройства сейсмоизоляции при наличии возвращающей силы являются здания с гибким нижним этажом. Гибкий этаж может быть выполнен в виде каркасных стоек, упругих опор, свай и т.п. Один из возможных вариантов конструктивного исполнения гибкого этажа представлен на рисунке. Конструкция состоит из гибких опор, выполненных из пакета упругих стержней небольшого диаметра, размещенных между надземной и подземной частями здания.

Здания на резинометаллических и резинопластиковых опорах сжатия получили широкое распространение за ру-

бежом. В настоящее время используется несколько типов резинометаллических упругих, опор сжатия: французский, новозеландский, американский и итальянский вариант опор. Для предотвращения чрезмерной осадки зданий под нагрузкой от собственного веса, опоры выполняются жесткими в вертикальной и податливыми в горизонтальной плоскости. Благодаря упругим свойствам резины, резинометаллические опоры обладают высокой прочностью при сжатии, растяжении и кручении. Однако стоимость самих фундаментов оказывается значительной и может достигать 30% от стоимости здания. И наряду с этим, резинометаллические и резинопластиковые опоры сжатия обладают малой временной надежностью [1,2,3]. Некоторые конструктивные примеры резинометаллических опор, представлены на рисунке 3.

Серьезной проблемой при проектировании сооружений на упругих опорах явилась сложность обеспечения их прочности при значительных взаимных смещениях сейсмоизолированных частей фундамента. Это послужило причиной широкого распространения кинематических опор при сооружении сейсмоизолирующих фундаментов. Принцип действия такой конструкции состоит в том, что во время землетрясения центр тяжести опор поднимается,

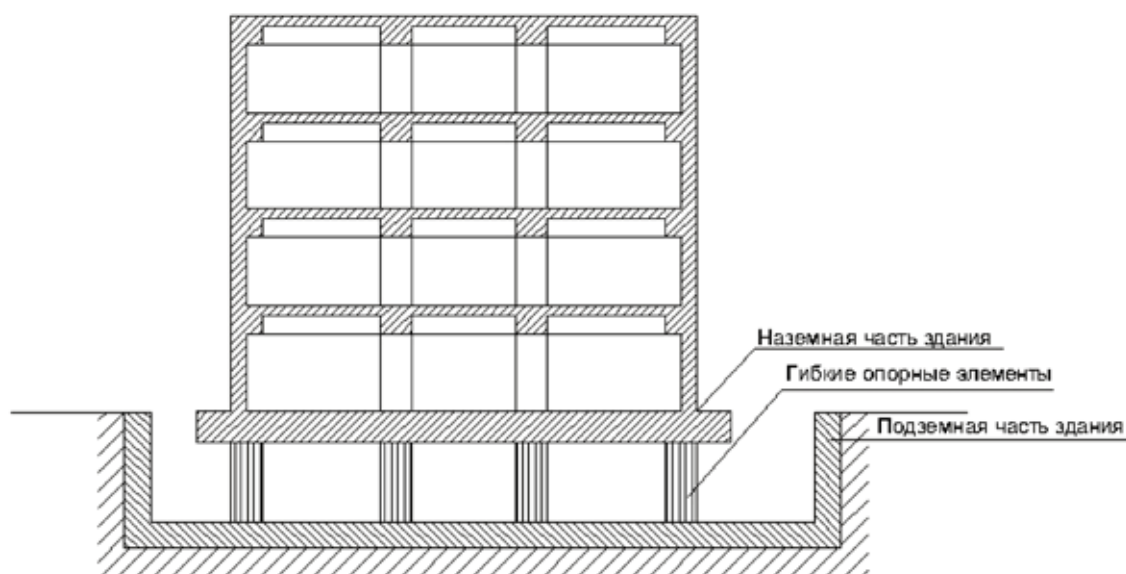


Рис. 2. Здание с гибким нижним этажом

в результате чего образуется гравитационная восстанавливающая сила. При этом колебания здания происходят около положения равновесия, и их начальная частота и период зависят от геометрических размеров используемых опор.

Необходимо отметить, что построенные фундаменты этого типа не имеют специальных демпфирующих устройств, и при длиннопериодных воздействиях силой более 8 баллов, согласно выполненным расчетам, возможно падение здания с опор. Это указывает на опасность фундаментов на кинематических опорах, если в них не предусмотрены дополнительные демпфирующие элементы.

Сейсмоизоляция, не обеспечивающая возвращающей силы, действующей на сейсмоизолированные части конструкции, реализуется путем устройства скользящего пояса. Одно из наиболее известных технических решений

такого типа — сейсмоизолирующий фундамент фирмы Spie Batignolle и Electricite de France.

Конструкция антисейсмической фрикционной опоры показана на рисунке 4. Опора, поддерживающая верхнюю фундаментную плиту, состоит из фрикционных плит, армированной прокладки из эластомера (неопрена), нижней фундаментной плиты, бетонной стойки, опирающейся на нижнюю фундаментную плиту. Жесткость опор в вертикальном направлении примерно в 10 раз выше, чем в горизонтальном.

Сейсмоизолирующий фундамент фирмы Spie Batignolle является классическим примером сейсмоизоляции с последовательным расположением упругих и демпфирующих элементов. При относительно слабых воздействиях, когда горизонтальная нагрузка на опорную часть не превосходит сил трения, система работает в линейной

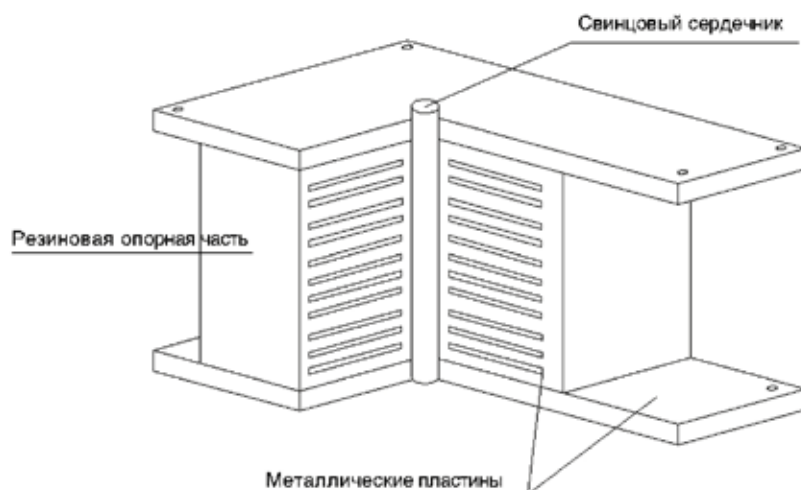


Рис. 3. Антисейсмическая опора

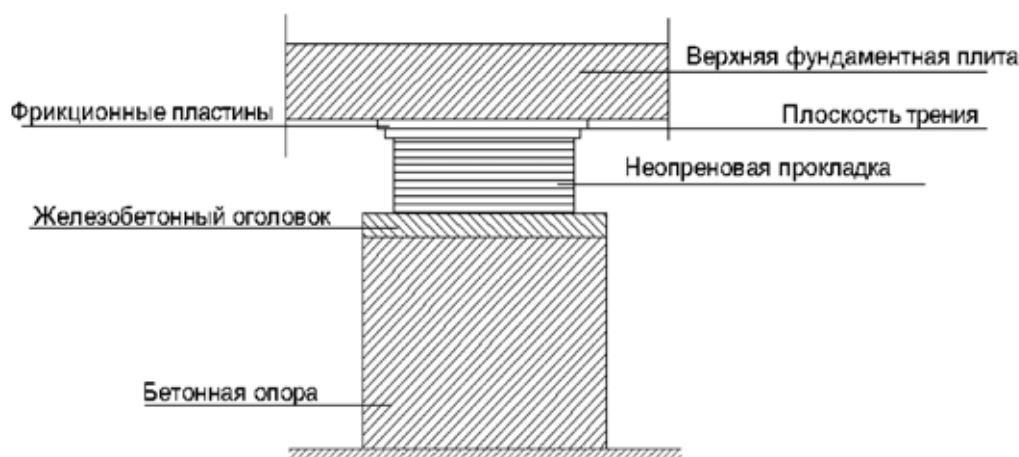


Рис. 4. Сейсмоизолирующий фундамент фирмы Spie Batignolle

области; при увеличении нагрузки сила трения преодолевается и происходит проскальзывание верхней фундаментной плиты относительно нижней. При этом удается в несколько раз снизить нагрузки на оборудование и здание.

Несмотря на ряд достоинств сейсмоизолирующего фундамента Spie Batignolle, рассмотренная конструкция имеет ряд недостатков. Критический анализ французского решения имеется, в нем, в частности, отмечается, при этом взаимные смещения фундаментных плит не превосходили 20 см.

В качестве конструктивных недостатков фундамента следует отметить невозможность избежать неравномерного давления на опоры при строительстве на некачественных грунтах, отсутствие средств регулирования сил трения, сложность смены прокладок во время эксплуатации.

Следует отметить, что традиционные сейсмоизолирующие устройства, в том числе и сейсмоизолирующие опоры, имеют существенный общий недостаток: они расчленяют цельную систему «здание-фундамент» на отдельные части, что приводит к ослаблению системы в угоду сейсмоизоляции определенной части этой системы. При этом возникают взаимные смещения между изолированной и неизолированной частями, а для ограничения этих взаимных смещений устанавливают демпферы, рассеивающие энергию сейсмического воздействия.

Рассмотрим сооружения, которые совместно с фундаментом образуют единую цельную пространственную многосвязную систему, которая даже при отделении от основания сохраняет геометрическую неизменяемость. Устройство сейсмоизоляции должно относиться ко всей этой цельной системе, а не к отдельной ее части.

Примером такого конструктивного решения может быть здание (сооружение), объединенное со сплошной пространственной фундаментной платформой, между которой и вырванным основанием имеется скользящий слой, снижающий трение. При этом мощная сейсмическая волна проскальзывает под платформой, т.е. существенно снижается уровень больших горизонтальных

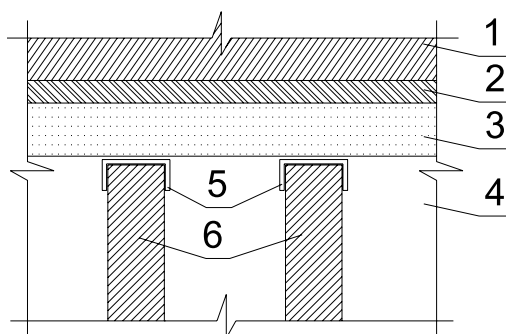
сейсмических воздействий (в том числе несимметричных, крутильных и т.п.) на платформу и тем самым на верхнее строение. Цельность и многосвязность зданий с фундаментом позволяют воспринимать и вертикальные толчки. При этом возможные горизонтальные смещения будут иметь место не между отдельными частями зданий (т.е. не нарушается цельность), а между системой («здание-фундамент») и основанием. Небольшие (порядка нескольких сантиметров) смещения могут быть допустимы при планировке территорий, а для ограничения больших смещений будут установлены упоры (демпферы, возвратные устройства и т.п.) [4].

Таким образом, скользящий слой образует сейсмоизолирующее защитное устройство, не нарушающее целостность системы «здание-фундамент». Следует указать на другие возможные виды защитных сейсмоизолирующих (экраных) устройств, находящихся вне пределов системы «здание-фундамент», например, устройство траншей (рвов) поперек динамического воздействия.

Сопrotивление свайных фундаментов сейсмическим воздействиям, их высокая несущая способность во время землетрясений, а также позитивное влияние свай на динамические характеристики сооружений бесспорно. Поэтому свайные фундаменты являются целесообразным инженерным решением фундирования здания.

Эффективно применение свайных фундаментов в условиях слабых грунтов в сейсмических регионах, особенно радикального успеха можно достичь при полной прорезке сваями слабых, сильно сжимаемых слоев основания и опирании их острия в несущий слой грунта I категории сейсмичности. Что касается свайных фундаментов со сваями, погруженными в грунт II категории, то прежде всего должно быть решено являются ли сваями-стойками забивные сваи, какова их несущая способность.

С целью снижения сейсмического воздействия фундаментов на верхнее строение сооружения предлагались различного рода изоляторы, амортизаторы и т.д. Наиболее рациональным инженерным решением, разработанным в



1. Стена здания;
2. ЖБ ростверк;
3. Песчаная «подушка»;
4. Слабый грунт;
5. Наголовник сваи;
6. Забитая свая.

Рис. 5. Свайный фундамент с промежуточной «подушкой»

конце прошлого столетия как зарубежными (Чили) так и советскими (Россия, Молдова) специалистами являются свайные фундаменты с промежуточной «подушкой» из инертных материалов. Отличительной особенностью таких фундаментов является отсутствие жесткой связи между ростверком и сваями. По верху свай, забитых в грунт III категории по сейсмическим свойствам, отсыпается и уплотняется песчано-гравелистая «подушка», по которой укладывается железобетонная конструкция, подобная обыкновенному ростверку и рассчитывается как балка на упругом основании.

В свайном фундаменте с промежуточной подушкой резко снижается передача на верхнее строение горизонтальной (сейсмической) нагрузки, которая распределяется (рассеивается) по подушке[5].

#### **Адаптивные системы сейсмоизоляции фундаментов**

Рассмотренные выше примеры сейсмоизоляции представляют собой системы, в которых динамические характеристики сохраняются в процессе землетрясения. Наряду с этими решениями в практике сейсмостойкого строительства получили распространение адаптивные системы. В этих системах динамические характеристики сооружения необратимо меняются в процессе землетрясения, «приспосабливаясь» к сейсмическому воздействию. Конструктивный пример этой системы сейсмоизоляции представлен на рисунке 6.

В нижней части здания между несущими стойками нижнего этажа установлены связевые панели, отключающиеся при интенсивных сейсмических воздей-

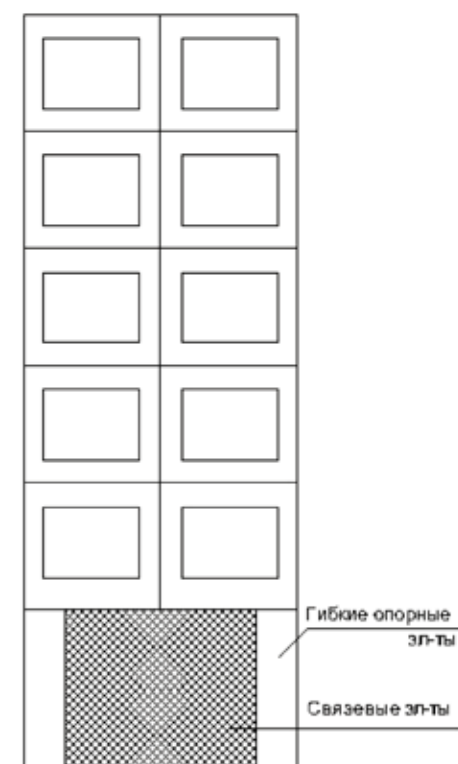


Рис. 6. Пример конструктивного решения зданий с выключающимися связями



твиях, когда в спектре воздействия преобладают периоды, равные или близкие к периоду свободных колебаний сооружения. После отключения панелей частота свободных колебаний падает, период колебаний увеличивается, происходит снижение сейсмической нагрузки. При низкочастотном воздействии период свободных колебаний здания со связевыми панелями значительно ниже величин преобладающих периодов грунта, поэтому резонансные явления проявляются слабо и связевые панели не разрушаются.

Применение выключающихся связей наиболее эффективно в том случае, когда уверенно прогнозируется частотный состав ожидаемого сейсмического воздействия. В качестве недостатков необходимо отметить, что после разрушения выключающихся связей во время землетрясения необходимо их восстановление, что не всегда практически осуществимо. Кроме того, как известно, в некоторых случаях в процессе землетрясения в его заключительной стадии происходит снижение преобладающей частоты воздействия. В следствии этого возможно возникновение вторичного резонанса и потеря несущей способности конструкций здания. В этом случае требуется применение конструктивных мероприятий, что приводит к дополнительным затратам на строительство.

### Выводы

В настоящей статье были аналитически рассмотрены современные методы сейсмоизоляции фундаментов зданий и сооружений. Многие из представленных моделей требуют дальнейших корректировок в расчетах и проектировании, теоретических и практических испытаний [9].

Расчеты, выполненные Я.М. Айзенбергом [8], показали, что относительные горизонтальные сейсмические перемещения перекрытий в сейсмоизолированных зданиях существенно ниже, чем в неизолированных зданиях. Соответственно, повреждения при сильных землетрясениях в сейсмоизолированных зданиях значительно ниже, чем зданий неизолированных.

Меры по сейсмозащите позволяют значительно снизить экономические потери. При правильном проектировании системы сейсмозащиты и сейсмоизоляции фундаментов и здания в целом способны повысить надежность сооружения, сохранность оборудования, комфорт для жителей, а также самое главное — отсутствие необходимости восстановительных работ после сильных землетрясений.

### Литература

1. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. — М.: Стройиздат, 1989. — 320 с.
2. Берковская Д.А. Мероприятия по антисейсмической защите конструкций зданий (Франция). // Строительство и архитектура Серия 14.1977. Вып.9, с. 10—12.
3. Тыркина О.В. Конструктивные решения и методы расчета зданий на сейсмоизолирующих опорах из хлорпренового каучука (Франция). // Сейсмостойкое строительство. Реф. сб. Сер.14. — М.: ВНИИИС, 1985. Вып.14, с. 1—8.
4. Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Надеяев В.Д. Новые конструктивные решения для сейсмостойкого строительства в особых грунтовых условиях. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2004, №3, с.30—32.
5. Баркан Д.Д., Межевой Г.Н. Исследование работы свайных фундаментов с промежуточной подушкой в сейсмических районах. / Сб.трудов НИИОСП им. Герсевича. Вып. 67, — М.: Стройиздат, 1976.
6. Уздин А.М. и др. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений. СПб, 1993. 176 с.
7. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат, 1976. 232 с.
8. Айзенберг Я.М. Сейсмоизоляция высоких зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. №4, 2007. С. 41—43.
9. Авидон Г.Э., Карлина Е.А. Особенности колебаний зданий с сейсмоизолирующими фундаментами А.М. Курзанова и Ю.Д. Черпинского // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. №1, 2008. С. 42—44.

## Прикладное использование технических наук в сельскохозяйственных исследованиях

Фролова С.В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; Никонорова Л.И., ст. преподаватель; Бобрович Л.В., профессор, доктор сельскохозяйственных наук; Аникьева Э.Н., ст. преподаватель  
Мичуринский государственный аграрный университет

В настоящее время весьма актуальной является проблема приложения знаний технических наук в исследования наук, в этих знаниях нуждающихся.

Так, практически не решенным до настоящего времени, для любого исследователя, особенно работающего с биологическими объектами, является вопрос утраты экспериментальных данных. В связи с широким воздействием различных стресс-факторов окружающей среды на объекты исследований в сельском хозяйстве, в частности, в плодоводстве, и, прежде всего, на сами плодовые деревья (морозные зимы, чрезмерное выпадение осадков, заболачивание местности, нанесение вреда грызунами и т.д.), исследователи очень часто сталкиваются с проблемой утраты некоторых данных в поставленных экспериментах.

Постановка нового опыта требует, как правило, больших временных и материальных затрат, а порой и вообще не является возможной. Насколько неразрешим в данном случае вопрос о возможности работы с оставшимися данными с целью получения достоверных обоснованных выводов? Существует несколько различных методов обработки экспериментальных данных при их частичной утрате в стационарном опыте по каким-либо причинам. Так можно рассматривать опыт с различным числом элементов в повторностях, как опыт, построенный по неортогональной схеме, предполагающей попарное сравнение вариантов с различным числом повторений.

Таблица 1

Диаметр (мм) штабиков саженцев яблони (исходная матрица)

№	Сорт	Диаметр (мм) штабиков саженцев яблони
1	Северный синап	15,2; 11,0; 13,2; 10,5; 13,3; 10,0; 14,5; 15,0; 14,8; 14,9
2	Спартан	10,1; 10,9; 10,5; 11,5; 9,0; 10,7; 9,0; 9,0; 10,5; 10,3
3	Уэлси	10,2; 9,5; 10,2; 10,2; 10,0; 9,8; 11,5; 10,0; 12,3; 11,0

Таблица 2

Диаметр (мм) штабиков саженцев яблони (матрица с выпавшими данными)

№	Сорт	Диаметр (мм) штабиков саженцев яблони
1	Северный синап	12,5; 11,0; 13,2; 10,5; 13,3; 14,5; 15,0; 14,8; 14,9
2	Спартан	10,1; 10,9; 10,5; 11,5; 10,7; 9,0; 10,5; 10,3
3	Уэлси	10,2; 9,5; 10,2; 10,2; 10,9; 9,8; 11,5; 10,0; 12,3; 11,0

Применение предлагаемого метода рассмотрено ниже на конкретном примере с использованием полученных в исследованиях с саженцами-двулетками яблони ряда сортов на полукарликовом подвое 54—118 в питомнике в условиях средней зоны садоводства РФ (учхоз «Комсомолец» МичГАУ) по показателей роста и плодоношения, в частности диаметра штабиков саженцев как интегративной характеристики, отражающей активность их ростовых процессов.

Для обработки результатов были сформированы исходные выборки по 10 значений по каждому варианту (сорт) — таблица 1. После условного выпадения данных в размере 10% в целом по опыту (по таблице случайных чисел) получаем матрицу для обработки рассматриваемым методом вида (табл. 2). Объективный подход выпадения обеспечивался моделированием процесса выпадения данных по таблице случайных чисел, чтобы иметь возможность сравнить получаемые показатели с теми, которые должны были быть в том случае, когда данные не были бы утрачены. Экспериментальную выборку мы имитировали, основываясь на трёх элементах (Дж.У.Снедекор, 1961) процесса отбора: выбор начального пункта брали наугад, меняли направление движения по таблице, меняли размер выборки.

Исходная таблица проведения дисперсионного анализа в данном случае по неортогональной схеме имеет следующий вид (табл. 3).

Таблица 3

Исходные данные для дисперсионного анализа

№	Сорт	Диаметр (мм) штабиков саженцев яблони	$\Sigma A$	Число повторностей n	$\bar{X}$	$(\Sigma A)^2$
1	Северный синап	12,5; 11,0; 13,2; 10,5; 13,3; 14,5; 15,0; 14,8; 14,9	119,7	9	13,3	14328,1
2	Спартан	10,1; 10,9; 10,5; 11,5; 10,7; 9,0; 10,5; 10,3	83,5	8	10,4	6972,3
3	Уэлси	10,2; 9,5; 10,2; 10,2; 10,0; 9,8; 11,5; 10,0; 12,3; 11,0	104,7	10	10,5	10962,1
	$\Sigma$		307,9	27		

$$\sum x^2 = 12,5^2 + 11^2 + \dots + 11^2 = 3593,03$$

$$\sum Q_0 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{\sum n} = 3593,03 - 3511,2 = 81,83$$

$$\sum Q_A = \frac{(\sum A_1)^2}{n_1} + \frac{(\sum A_2)^2}{n_2} + \frac{(\sum A_3)^2}{n_3} - \frac{(\sum x)^2}{n} = \frac{(119,7)^2}{9} + \frac{(83,5)^2}{8} + \frac{(104,7)^2}{10} +$$

$$- \frac{(307,9)^2}{27} = 1592,01 + 871,53 + 1096,21 - 3511,20 = 3559,75 - 3511,20 = 48,55$$

$$\sum Q = \sum x^2 - \left[ \frac{(\sum A_1)^2}{n_1} + \frac{(\sum A_2)^2}{n_2} + \frac{(\sum A_3)^2}{n_3} \right] = 3593,03 - 3559,75 = 33,28$$

Таблица 4

Результаты дисперсионного анализа

Варьирование	Сумма квадратов $\sum Q$	Число степеней свободы $df$	Дисперсия $S^2$	$F_\Phi$
Общее	162,83	26	-	-
Вариантов	48,55	2	24,27	17,51
Остаточное	33,28	24	1,39	-

Частные различия в неортогональных схемах дисперсионного анализа оценивают путем определения ошибок разностей и  $HCP_{05}$  для каждой сравниваемой пары средних величин. В данном примере для первого и третьего вариантов  $n_1 = 9$  и  $n_3 = 10$ , тогда ошибка разности средних арифметических:

$$S_d = \sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_3}} = \sqrt{\frac{1,4^2}{9} + \frac{1,4^2}{10}} = 1,8 \text{ см}$$

$$HCP_{05} = t S_d = 1,11$$

В нашем примере число повторностей в первом варианте  $n_1 = 9$ , во втором  $n_2 = 8$ , а ошибка разности средних арифметических  $HCP_{05} = 1,18$ . Для второго и третьего вариантов  $n_2 = 8$  и  $n_3 = 10$ ,  $HCP_{05} = 1,15$ . Для первого и третьего вариантов  $n_1 = 9$  и  $n_3 = 10$ ,  $HCP_{05} = 1,11$ .

Описанный выше метод является лишь одним из нескольких методов восстановления выпавших в стационарном опыте данных. Авторы писали о них в других своих публикациях. Но в каждом из этих методов требуется знание мате-

матических объектов, а также навыки их обработки в каких-то программных продуктах, например в электронных таблицах.

В заключение хочется отметить, что для такого рода обработки результатов исследований, с учетом частично выпавших опытных данных в Мичуринском Государственном аграрном университете доцентом Фроловой С.В. (2003) создана и в настоящее время модифицируется компьютерная программа «ASTRA». Кроме того, продолжаются исследования по оценке допустимой погрешности при применении различных методов, позволяющих анализировать опыт с частичной утратой данных. Имитация процесса выпадения данных при этом моделируется созданной нами компьютерной программой «GLORIA».

В эпоху бурного развития вычислительной техники необходимым, на наш взгляд, является использование возможностей математического моделирования для решения возникающих задач такого плана. Использование одной науки в целях другой позволяет найти выход из сложившейся для исследователя ситуации.

### Литература

1. Бобрович Л.В. Вариабельность показателей роста и плодоношения слаборослых клоновых подвоев, саженцев и деревьев яблони, оптимизация учетов и оценка различий. Автореферат дисс. канд. с.-х. наук, Мичуринск, 1996. — 25 с.
2. Разработка компьютерных программ и вариационно-статистический анализ экспериментальных данных в плодоводстве. Диссертация — Фролова С. В. — 06.01.07 — Мичуринск, 2003
3. Оптимизация научных исследований в плодоводстве «Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования» 2006г. Том 2, Москва
4. Снедекор Дж.У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии /Дж.У. Снедекор. — М.: Изд-во с.-х. литературы, журналов и плакатов, 1961. — Перевод с английского В.Н.Перегудова. — 561.
5. Никонорова, Л.И. К вопросу обработки экспериментальных данных в плодоводстве при их частичной утрате / Л.И. Никонорова, С.В. Фролова, Л.В. Бобрович // Актуальные проблемы развития АПК: сборник трудов все-российской конференции. — Саратов, 2006.

## Итерационная процедура высокоточного совмещения аффинно-преобразованных изображений

Чекотило Е.Ю., кандидат технических наук  
Самарский государственный технический университет

Известные [1–2] точные методы совмещения изображений, основанные чаще всего на вычислении взаимно корреляционных функций анализируемых изображений, обладают большой вычислительной сложностью и, вследствие этого, мало приспособлены для реализации в реальном времени, особенно при идентификации параметров сложного, «аффинного», движения.

В работе для получения высокоточных оценок параметров геометрического рассогласования положения (взаимного смещения) аффинно-преобразованных изображений предложен компенсационный вариант метода функционализации [3]. Метод является обобщением известного градиентного метода вычисления «оптического потока» [4] и основан на использовании соотношения (ФС — уравнения), функционально связывающего параметры движения наблюдаемого объекта с изменениями измеримых характеристик изображения. Под измеримыми понимаются характеристики изображения, значения которых определены на подобластях изображения ненулевой меры. Здесь этот метод используется для оп-

ределения параметров движения изображения, обладающего тремя степенями свободы (аффинно-преобразованного изображения без растяжения).

### Постановка задачи

На анализируемом изображении, заданном равномерно ограниченной и дифференцируемой почти всюду по всем своим аргументам функцией распределения освещенности изображения яркостного объекта  $E(\vec{r}(t), t)$  ( $\vec{r} = (x(t) \ y(t))^T$  — вектор смещения в системе координат плоскости изображения,  $T$  — операция транспонирования матрицы), выделяются подобласти — последовательные во времени кадры  $\Psi^1 = \Psi(\vec{r}, t_0)$  и  $\Psi^2 = \Psi(\vec{r}, t_0 + T_k)$  ( $t_0$  — начальный момент времени,  $T_k$  — кадровый период). Причем  $\Psi^2$  является результатом преобразования  $T$ :

$$\Psi^1(\vec{r}) = T(\Psi^1(\vec{r})) = A \cdot \Psi^1(\vec{r} + \vec{s}), \quad (1)$$

$A = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$  – оператор вращения [4],  
 $\vec{s} = (s_x, s_y)^T$  – перенос.

При этом в каждом кадре рассматриваются изображения  $E^1 = \Psi^1 \cap E(\vec{r}, t)$  и  $E^2 = \Psi^2 \cap E(\vec{r}, t)$  соответственно.

Задачей является нахождение оператора  $T^{-1}$ , обратного для оператора  $T$ .

#### Итерационная процедура определения параметров рассогласования положения изображений

В компенсационном варианте метода функционализации [5–6] для совмещения изображений используют итерационную процедуру, которая заключается в следующем. На каждой итерации  $\tau$  ( $\tau = 0, 1, \dots, n$ ,  $\Psi^2 = \Psi(0)$ ) кадр  $\Psi^2$  трансформируется в кадр  $\Psi(\tau)$  с помощью оператора, являющегося оценкой оператора  $T^{-1}$  на шаге  $\tau$ .

По изображениям, покрываемым кадрами  $\Psi^1$  и  $\Psi(\tau)$  методом функционализации уточняют оценку обратного оператора  $T^{-1}$ .

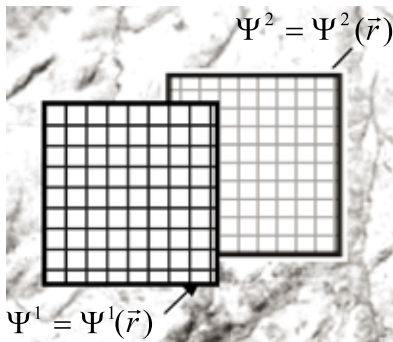


Рис. 1. Пример покрытия изображения в кадрах  $\Psi^1$  и  $\Psi^2$

При этом каждый кадр изображения покрывают идентичной системой окон анализа  $D_i^j$  ( $i = 1..N$  – номер окна анализа,  $j$  – номер кадра) (рис. 1) и для каждой одноименной пары окон  $D_i^1$ ,  $D_i^2$  формируют уравнения функциональной связи вида [5]:

$$B \cdot \Delta \vec{\Lambda} \cong \Delta \vec{\Phi}, \quad (2)$$

где  $\Delta \vec{\Lambda} = \begin{bmatrix} \Delta \vec{T} \\ q \end{bmatrix}$  – вектор-столбец,

$\Delta \vec{T}(\tau) = (\Delta x(\tau) \ \Delta y(\tau) \ \Delta \alpha(\tau))^T$  – вектор смещения,  $q$  – переменная характеризующая изменение освещенности сцены [6];

$\Delta \vec{\Phi} = [\Phi_i^2 - \Phi_i^1]$ ,  $\Phi_i^j$  – функционал вида:

$$\Phi_i^j = \iint_{D_i^j} K_i^j(\vec{r}) E_i^j(\vec{r}(t), t) ds, \quad (3)$$

$K_i^j(\vec{r})$  – непрерывная и дифференцируемая почти всюду по всем своим аргументам функция веса;

$B = [b_{ik}]$  – матрица коэффициентов, элементы которой определяют из выражений:

$$b_{ik} = \frac{1}{2} (b_{ik}^1 + b_{ik}^2);$$

$$b_{i1}^j = \iint_{D_i^j} k_m [K_{xi}^{'j}(\vec{r}) \cos \alpha + K_{yi}^{'j}(\vec{r}) \sin \alpha] E_i^j(\vec{r}, t) ds;$$

$$b_{i2}^j = \iint_{D_i^j} k_m [-K_{xi}^{'j}(\vec{r}) \sin \alpha + K_{yi}^{'j}(\vec{r}) \cos \alpha] E_i^j(\vec{r}, t) ds;$$

$$b_{i3}^j = \iint_{D_i^j} [K_{xi}^{'j}(\vec{r}) y - K_{yi}^{'j}(\vec{r}) x] E_i^j(\vec{r}, t) ds;$$

$$b_{i4}^j = \iint_{D_i^j} K_i^j(\vec{r}) E_i^j(\vec{r}, t) ds;$$

$k = 1..4$  – число ФС-уравнений.

Система (2) в общем случае является переопределенной. Она дает оценки составляющих вектора смещения изображения  $\begin{bmatrix} \Delta \vec{T} \\ q \end{bmatrix}$ . Система решается методом квазиобращения [5]. Итерационную процедуру

$$\begin{cases} \vec{T}(\tau + 1) = \vec{T}(\tau) + \lambda \Delta \vec{T} \\ \vec{T}(0) = \vec{T}_0 \end{cases}, \quad (4)$$

где  $\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_s & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_s & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_\alpha \end{bmatrix}$  – матрица «коэффициентов обратной связи»;

$\vec{T}_0$  – предполагаемая оценка смещения изображения кадра  $\Psi^2$  относительно кадра  $\Psi^1$ , повторяют до тех пор, пока компоненты вектора смещения  $\vec{T}$  на  $n$ -ом шаге не станут меньше заданных величин  $\varepsilon_x > 0$ ,  $\varepsilon_y > 0$  и  $\varepsilon_\alpha > 0$ .

Приведенный алгоритм требует настройки параметров  $\lambda$  и размеров окон анализа  $D_i^j$  по условиям сходимости процедуры.

В [6] дана аналитическая оценка сходимости итерационного метода на примере тестового моночастотного изображения вида

$$E(\vec{r}) = \sin(A_2 \omega \vec{r}) + \cos(A_1 \omega \vec{r}) \quad (5)$$

отдельно для плоско-параллельного движения ( $\alpha(t) = \text{const}$ ) и вращения в плоскости движения изображения.



Таблица 1

Длина стороны окна анализа	$\lambda_{\alpha}^{kp}$	Погрешность приближения $\varepsilon$		
		$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-5}$
		Максимальное число итераций $n$		
$\frac{8\pi}{9w}$	0,193	14	20	31
$\frac{32\pi}{45w}$	0,1763	31	45	72
$\frac{128\pi}{135w}$	0,00277	128	234	341
$\frac{504\pi}{405w}$	0,04616	20	29	46

Таблица 2

Длина стороны окна анализа	Коэффициент обратной связи		
	$\lambda_{\alpha} = 4 \cdot \lambda_{\alpha}^{kp}$	$\lambda_{\alpha} = 8 \cdot \lambda_{\alpha}^{kp}$	$\lambda_{\alpha} = 10 \cdot \lambda_{\alpha}^{kp}$
	Максимальное число итераций $n$		
$\frac{8\pi}{9w}$	6	5	5
$\frac{32\pi}{45w}$	27	15	7
$\frac{128\pi}{135w}$	52	24	18
$\frac{504\pi}{405w}$	28	10	7

Достаточным условием сходимости итерационной процедуры для случая плоско-параллельного движения является выполнение следующих условий, накладываемых на начальное рассогласование положения (перенос) объекта в анализируемых кадрах и значение коэффициента  $\lambda_s$  в (4):

$$T_{x0}, T_{y0} \in \left[-\frac{2\pi}{3\omega}; \frac{2\pi}{3\omega}\right] \quad \lambda_s \leq 4\omega^2 \cos^2 \frac{s(\tau)\omega}{2}. \quad (6)$$

Таким образом, процесс сходится, если начальное рассогласование кадров  $\Psi^1$  и  $\Psi^2$  не превышает трети периода  $\frac{1}{\omega}$  тестового изображения.

Условием сходимости итерационного процесса для случая чистого вращения при изменении угла поворота в пределах  $\alpha_0 \in [0, \frac{\pi}{2}]$  является:

$$0 < \varepsilon \leq |\lambda_{\alpha}| < \frac{1}{1+M}, \quad M = \max_{\alpha} \left| \frac{\partial \Delta \alpha(\alpha(\tau))}{\partial \alpha(\tau)} \right|, \quad (7)$$

где  $\Delta \alpha(\tau)$  – приращение оценки угла поворота на итерации с номером  $\tau$ .

Обозначим через  $\lambda_{\alpha}^{kp}$  максимальное (критическое) значение, отвечающее достаточному признаку сходимости (7). Считаем, что окна анализа  $D_i^j$  имеют форму квадрата.

В таблице 1 приведена аналитическая оценка зависимости количества итераций итерационного процесса (4) от частоты тестового сигнала при критическом значении коэффициента обратной связи  $\lambda_{\alpha}^{kp}$ . Условие (7) является лишь достаточным.

Нетрудно показать, что значение  $\lambda_{\alpha}$  может быть увеличено, при этом скорость сходимости увеличивается.

Результаты исследования влияния  $\lambda_{\alpha}$  на процесс сходимости итерационной процедуры (7) для тестового изображения вида (5) представлены в таблице 2.

При увеличении  $\lambda_{\alpha} > 10 \cdot \lambda_{\alpha}^{kp}$  сначала увеличивается количество итераций, а затем процесс (5) теряет устойчивость. Таким образом, можно сделать вывод, что наилучшая сходимость с точки зрения максимального быстродействия итерационного процесса достигается при  $8 \cdot \lambda_{\alpha}^{kp} \leq \lambda_{\alpha} \leq 10 \cdot \lambda_{\alpha}^{kp}$ . В таблице 2 приведены результаты, соответствующие допустимой погрешности  $\varepsilon = 10^{-3}$ . При других значениях  $\varepsilon$  значение  $\lambda_{\alpha}$  остается в тех же пределах.

### Заключение

В статье предложен компенсационный метод определения параметров движения изображений, основанный на итерационной процедуре совмещения изображений. По-

лучены аналитические оценки сходимости и быстродействия метода для аффинного движения изображения, позволяющие существенно расширить область сходимости по начальным данным и уменьшить количество итераций итерационного процесса.

### Литература

1. Fleet David J., Jepson Allan D. Computation of component image velocity from local phase information. //Int. J. Comput. Vision. 1990. — 5. N1. — pp. 77–104.
2. Miike Hidetoshi, Nomura Atsushi, Koga Kazutoshi. Determining image flow from multiple frames based on the continuity equation. //Technol. Repts Yamaguchi Univ. — 1991. — 4. № 5. — P. 387–397.
3. Кузнецов П.К., Семавин В.И. Метод определения параметров движения яркостного поля//Известия ВУЗов. Приборостроение. — 1990. — №6. — С. 26 – 30.
4. Black M.J., Anandan P. A framework for the robust estimation of optical flow// ICCV'93, May. — 1993. — P. 231–236.
5. Кузнецов П.К., Мартемьянов Б.В., Семавин В.И., Чекотило Е.Ю. Метод определения вектора скорости движения подстилающей поверхности// Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки. — 2008. — № 2(22). — С. 96 – 110.
6. Кузнецов П.К., Чекотило Е.Ю., Мартемьянов Б.В. Исследование сходимости итерационной процедуры определения параметров движения изображений методом функционализации// Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки. — 2010. — №2(26). — С. 80 – 85.

## Создание численной модели индукционно нагревательной установки периодического действия в среде наукоемкого расчетного программного комплекса FLUX

Шарапова О.Ю., аспирант, младший научный сотрудник  
Самарский государственный технический университет

В современном промышленном производстве широко применяется нагрев заготовок из черных и цветных металлов перед различными операциями пластической деформации: прокаткой, прессованием, штамповкой, волочением. В этих целях используют индукционно нагревательные установки (ИНУ) различных принципов действия и самого разнообразного конструктивного исполнения.

При малой производительности и сравнительно большой длине заготовки часто используют ИНУ периодического действия. В периодических нагревателях одно или несколько изделий нагревается до требуемой температуры, после чего загрузка индуктора полностью заменяется (рис. 1).

Индукционные нагревательные установки периодического действия являются сложными техническими объектами, в которых протекают физические процессы электромагнитной и тепловой природы. В общем случае математическое описание таких объектов представляет собой систему детерминированных нелинейных дифференциальных и интегральных уравнений, записанных для многомерных и многосвязных областей. Если не вводить существенных упрощений в постановку задачи, то решение указанной системы уравнений, следовательно, и количественное описание изучаемого объекта может быть получено только численными методами [1,2]. К настоящему времени наибольшее распространение при решении

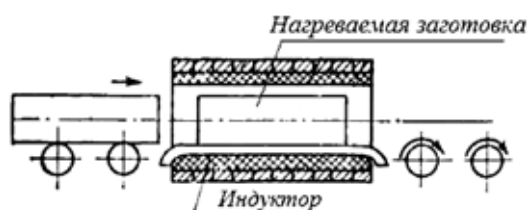


Рис. 1. Схема ИНУ периодического действия

Таблица 1  
Исходные данные для численного моделирования ИНУ

Длина индуктора, м	1,046
Заданная температура заготовки, °C	1200
Температура окружающей среды, °C	20
Начальная температура заготовки, °C	20
Частота питающего тока, Гц	2300
Число витков	42
Внутренний диаметр катушки индуктора, мм	145
Геометрические параметры витка, мм	15 x 20
Расстояние между витками, мм	4
Диаметр заготовки, мм	105
Материал заготовки, сталь	C 40
Напряжение источника питания, В	450
Время нагрева, с	509

дифференциальных уравнений получили численные методы конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ) [3].

Современные технологии конечно-элементного анализа реализуются в программных пакетах высокого уровня. Одним из специализированных программных продуктов, предназначенных для многопараметрического электромагнитного, теплового и электромеханического анализа, является пакет FLUX, разработанный французской компанией Cedrat [4].

Перечислим основные этапы численного моделирования процесса индукционного нагрева металла на базе программного пакета FLUX: задание исходных данных в предпроцессоре, численное решение в процессоре, обработка результатов в постпроцессоре.

Для ИНУ, представленной на рисунке 1, необходимые исходные данные приведены в таблице 1.

#### **Работа в предпроцессоре программного пакета FLUX**

На первом этапе моделирования осуществляется построение геометрии, генерация сетки и задание физических свойств в окне предпроцессора FLUX. Перед тем как начать создавать единичные геометрические объекты (точки, линии), следует задать оси симметрии. Процесс построения значительно упростится и ускорится, если придется строить  $\frac{1}{2}$  или, как в нашем случае  $\frac{1}{4}$  часть от всей модели, поскольку рассматриваемая ИНУ симметрична относительно обеих осей.

При построении модели используются единичные геометрические объекты. Сначала задаются точки, с соответствующими координатами, затем точки соединяются линиями, образуя поверхности. Заканчивается построение геометрии заданием конечной области, ограничивающей окружающее пространство.

После задания геометрических параметров заготовки, индуктора и окружающего пространства переходим к построению сетки.

При построении сетки окружающего пространства наибольший интерес представляет то, как ведет себя электромагнитное поле в непосредственной близости к заготовке и виткам индуктора, в этом месте плотность разбиения будет максимальной. Плотность сетки становится тем меньше, чем дальше она от основных элементов модели.

При разбиении заготовки следует учесть скин-эффект, для этого на ее поверхности задается специальная область, имеющая соответствующие геометрические параметры (рис. 2). В результате описанных операций была сгенерирована сетка, состоящая из треугольных элементов и лишь в области, где наиболее выражен скин-эффект, используются четырехугольные элементы.

Прежде чем приступить к описанию основных электромагнитных, теплофизических свойств материалов и заданию граничных условий следует выбрать тип задачи (модуль). Рассмотрим модуль, решающий совместно электромагнитную и тепловую задачи (электромагнитный тепловой). За основу в нем берутся установившиеся электромагнитные и переходные тепловые процессы.

Конструкцию модели можно разбить на 25 частей, каждая из которых имеет свои электромагнитные и тепловые свойства: заготовка, 21 виток катушки, теплоизоляция, охлаждающая вода, окружающее пространство.

Для задания свойств воздуха, воды и меди была использована стандартная библиотека материалов. В пакете FLUX так же существует возможность создания новых материалов, если все их необходимые электромагнитные, теплофизические свойства известны.

Особенностью пакета FLUX является возможность создания электрических схем. На рисунке 3 представлен фрагмент электрической схемы, которая соответствует моделируемой ИНУ.

Для того чтобы физическое описание модели было полным, необходимо задать граничные условия для тепловой задачи. Всей поверхности заготовки присваивается имя CON\_RAD и в соответствующем диалоговом окне

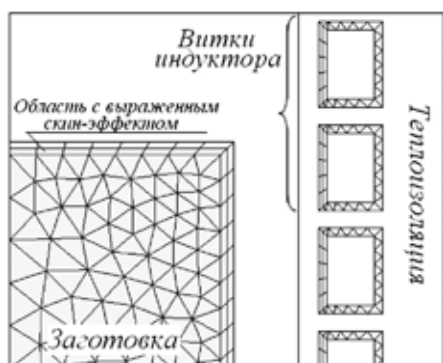


Рис. 2. Сетка заготовки и витков индуктора

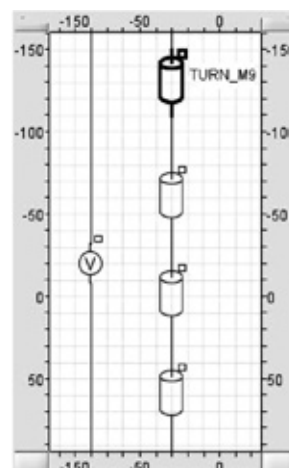


Рис. 3. Фрагмент электрической схемы

прописываются свойства, задаются коэффициенты лучистого и конвективного теплообмена.

#### Численное решение поставленной задачи в процессоре FLUX

После того, как работа с предпроцессором FLUX завершена, новый проект сохраняется, при этом автоматически создаются файлы с расширением INDHEAT.FLU, INDHEAT.TRA, INDHEAT.CID. Первый файл содержит всю информацию о геометрии, сетке, физических свойствах модели. Он запускается препроцессором для того, чтобы изменять, модифицировать разработанную модель. Второй файл необходим для дальнейшего численного решения. В третьем файле сохраняется вся информация об электрических схемах.

При запуске решателя считывается файл INDHEAT.

TRA, в котором содержатся все данные по модели. Для того чтобы расчет был запущен, необходимо задать временной шаг, время расчета, количество шагов, начальную температуру и температуру окружающей среды.

Обработка результатов в постпроцессоре программного пакета FLUX

Результатом работы решателя FLUX является два файла с именами INDHEAT\_M.TRA, INDHEAT\_T.TRA, они создаются автоматически и предназначены для дальнейшей обработки в постпроцессоре.

Первый файл содержит всю информацию о поведении магнитного поля, об изменении в течение времени электромагнитных свойств материалов.

Данные о поведении поля температур и об изменении в течение времени теплофизических свойств материалов содержит файл INDHEAT\_T.TRA. Используя широкий круг возможностей постпроцессора FLUX, можно про-

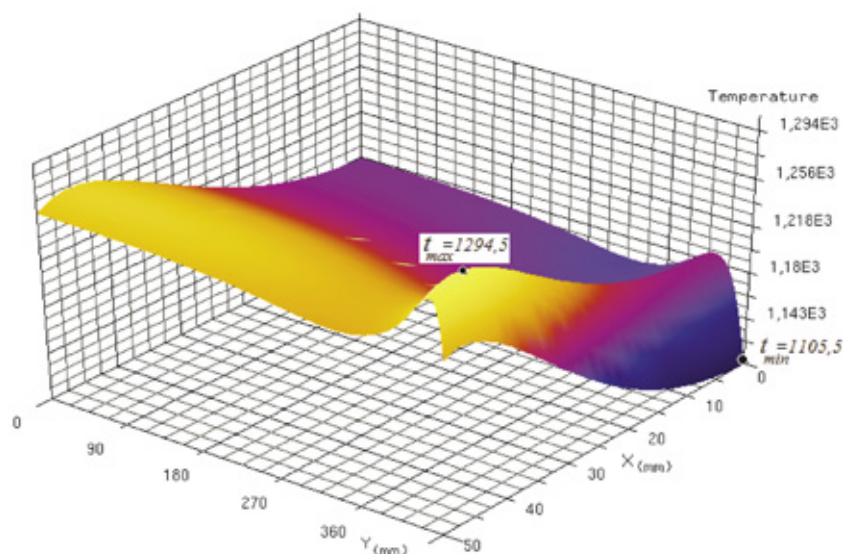


Рис. 4. Результирующее температурное поле заготовки в конце оптимального процесса нагрева

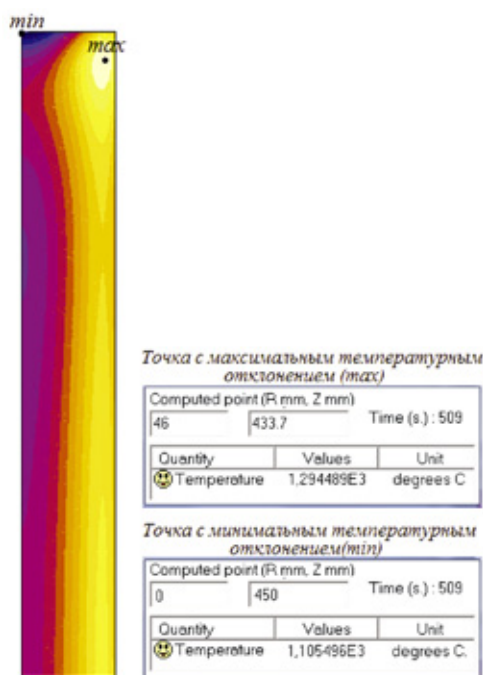


Рис. 5. Распределение температурного поля по объему заготовки

анализировать пространственно-временное распределение температуры по объему заготовки, применяя различные форматы файлов выхода.

Работа на этом этапе представляет наибольший интерес, так как основной целью нагрева заготовки в ИНУ является обеспечение с определенной точностью равномерного распределение температур по всему ее объему (рис. 4).

На рисунке 5 видно, как располагаются по объему цилиндрической заготовки точки с максимальными отклонениями от заданной температуры ( $1200^{\circ}\text{C}$ ) в конце оптимального процесса нагрева.

Максимальная температура ( $1294,4^{\circ}\text{C}$ ) создается не на поверхности тела, а на некоторой глубине, в зоне источников теплоты (в нашем случае это точка с координатами (46;433,7)). Это следует из того, что при моделировании был учтен лучистый и конвективный теплообмен с поверхности заготовки. По этой же причине на оси в точке координатами (0;450) находится ярко выраженный глобальный минимум, значение температуры в котором  $1105,5^{\circ}\text{C}$ . Большое влияние на температурное распределение оказывают концевые эффекты, по этой причине точка с максимальной температурой находится не в центре заготовки, а ближе к краю.

Как видно из рисунка 4, отклонение результирующего температурного поля по всему объему заготовки в конце оптимального процесса нагрева не превышает  $94,5^{\circ}\text{C}$ .

### Заключение

На базе конечно-элементного программного пакета FLUX была разработана численная двумерная модель индукционной нагревательной установки периодического действия. При моделировании рассматриваемого процесса были учтены следующие факторы: зависимость теплофизических свойств материала заготовки от температуры и от неравномерности магнитного поля; все способы теплопередачи; совместное решение электромагнитной и тепловой задач.

Разработанная двумерная модель позволяет выявлять основные физические закономерности поведения температурных полей и анализировать распределение температуры по всему объему заготовки. Данная модель может быть использована в оптимизационных процедурах для решения задач оптимального управления многомерными температурными полями в процессе периодического индукционного нагрева.

### Литература

1. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. — Л.: Энергоатомиздат, 1988. — 280 с.
2. Установки индукционного нагрева / Слухоцкий А.Е., Немков В.С., Павлов Н.А., Бамунер А.В. — Л.: Энергоатомиздат, 1981. — 328 с.
3. Rapoport E., Pleshivtseva Yu. Optimal Control of Induction Heating Processes. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Ration, London, New York, 2007. — 360 с.



4. <http://www.cedrat.com>

*Работа выполнена при финансовой поддержке целевой программы  
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–13 гг.» (проект П1448)*

## Использование предварительного масштабирования для повышения качества видеопотока

Шифрис Г.В., соискатель

ЗАО «Специализированные корпоративные решения»

### Введение

Исследование перспектив развития телекоммуникаций аналитиками компании CISCO [1] показали, то, что к 2013 году суммарный поток видеоданных составит примерно 90% пользовательского телекоммуникационного трафика, включая видеоконференции, мобильную телефонию и видеонаблюдение. Учитывая выше сказанное, все более актуальной становится проблема эффективного сжатия видеoinформации для передачи по телекоммуникационным сетям с сохранением высокого изображения на стороне пользователя. Максимально возможное повышение степени сжатия передаваемых видеоданных без существенного ухудшения качества может обеспечить существенное увеличение доходов магистральных операторов и Интернет-провайдеров за счет увеличения объема передаваемой информации, приходящейся на единицу сетевого трафика. Для систем видеонаблюдения повышение степени сжатия видеоданных с сохранением уровня различимости объектов на отдельных изображениях позволит сократить интенсивность потока передаваемой информации и увеличить информационную емкость устройств хранения.

### Постановка задачи

Существующие в настоящее время методы сжатия видеопотока можно условно разделить на две большие группы: основанные на анализе соседних кадров с целью компенсации движения, (стандарты H.264 или MPEG-4 [2]); выполняющие сжатие каждого кадра в отдельности (стандарты MPEG-2 или JPEG [3]). Методы сжатия второй группы являются симметричными, время компрессии кадра практически совпадает со временем его декомпрессии. Методы первой группы несимметричны: время компрессии одного кадра существенно превышает время декомпрессии, причем с увеличением степени сжатия растет и несимметричность метода. Для передачи изображения в режиме on-line предпочтительнее методы второй группы, многие из которых основаны на поблочном дискретном косинусном преобразовании (ДКП) изображения. При высокой степени сжатия такими методами на декомпрессированном изображении становятся заметны

границы блоков, на которые разбивается изображение при сжатии, что значительно снижает визуальное качество, например, на рисунке 1а приведено изображение после 10-ти кратного сжатия алгоритмом JPEG.

Проблему искажений при сохранении степени сжатия можно решить, используя предварительное масштабирование кадра перед компрессией, что позволит сжимать изображение с наименьшей потерей качества. На рисунке 1б показано изображение, полученное с использованием предварительного масштабирования. Изображение было отмасштабировано «вниз» с коэффициентом 1.5 и сжато алгоритмом JPEG, с коэффициентом компрессии 25. Коэффициенты масштабирования и сжатия алгоритмом JPEG подбирались такие, чтобы отмасштабированное изображение было равно по размеру изображению без масштабирования, т.е. размеры двух сравниваемых изображений примерно равны 3,5 кБ.

Чтобы рекомендовать данный метод к применению в системах передачи видеопотока в режиме on-line необходимо решить ряд задач:

- 5) выбрать наиболее подходящую методику для количественной оценки качества результирующего изображения по сравнению с исходным;
- 6) подобрать наилучший по отношению качество/время обработки алгоритм интерполяции;
- 7) найти оптимальное с точки зрения качества результирующего изображения соотношение коэффициентов масштабирования и компрессии;
- 8) оценить симметричность метода;
- 9) проанализировать результаты обработки изображений различного типа (цветные, монохромные, контрастные, размытые, с мелкими деталями и т.д.).

### Количественные методики сравнения изображений

В работе необходимо выбрать методику оценки качества изображения для анализа тестовых изображений. Существуют два подхода к оценке качества изображения. Первый — количественная оценка, которая основывается на использовании математических методов, второй — субъективная оценка, она основывается на экспертных оценках. Каждый подход можно разделить на две группы, это абсолютные и сравнительные оценки. Абсолютные

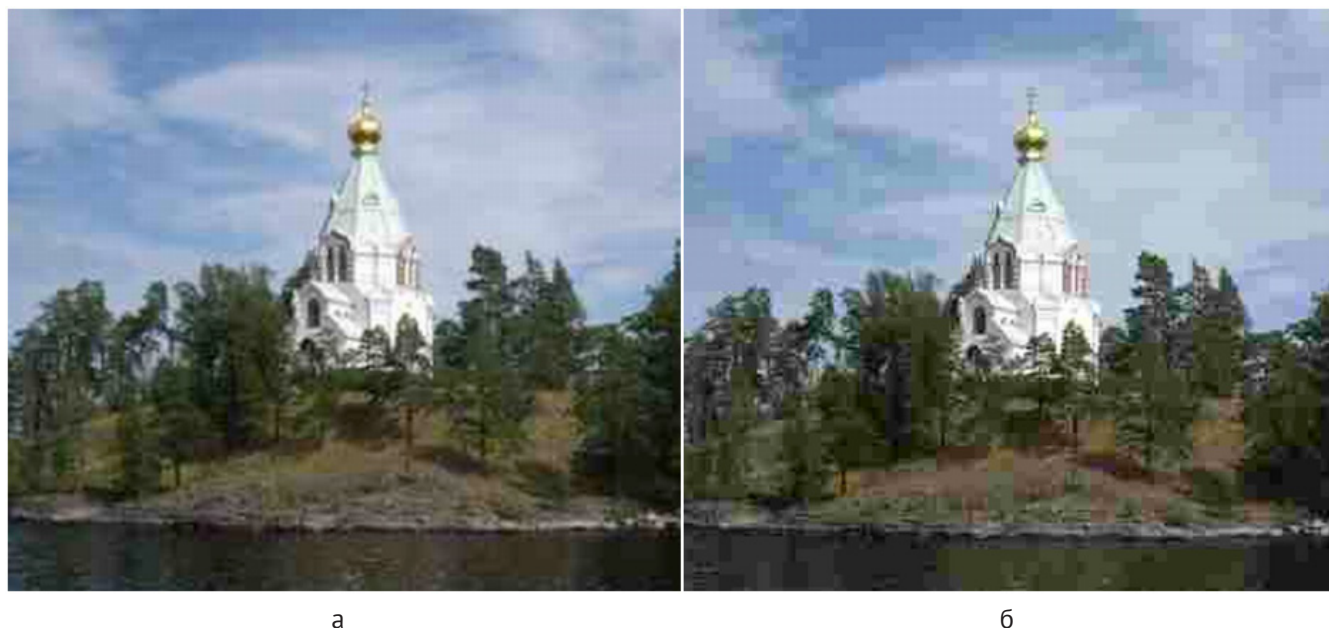


Рис 1. Сравнение результатов компрессии/декомпрессии различными методами  
а – результат компрессии алгоритмом JPEG без масштабирования,  
б – результат компрессии алгоритмом JPEG с масштабированием

мера используют для оценки одного изображения, сравнительные меры используются для ранжирования набора изображений в качественной шкале от «лучше всего» до «хуже всего» или взаимного сравнения двух изображений [4].

Субъективная оценка это долгий и сложный процесс, который требуют наличия опыта у экспертной группы, благоприятных условий труда, а также специальных методов статистической обработки для компенсации человеческого фактора. При выборе количественной оценки следует отдать предпочтение тем из них, которые учитывают особенности восприятия изображений человеческим глазом [5] (цветовое разрешение человеческого зрения ниже яркостного, человек мало восприимчив к мелким цветным деталям и т.п.).

Из-за сложности получения субъективной оценки, для сравнительного анализа изображений была выбрана количественная, сравнительная оценка качества SSIM.

Сравнительная мера оценки качества «Мера структурного подобия» (англ. SSIM – structural similarity), была предложена американским ученым из Нью-Йоркского университета Зоу Вангом для сравнения полутоновых изображений, на данный момент одна из самых «продвинутых». Она основывается на замере трёх компонентов: яркости, контрасту и структуре [6,7]:

$$SSIM = \left( \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \right) \left( \frac{2\overline{XY}}{(\overline{X})^2 + (\overline{Y})^2} \right) \left( \frac{2\sigma_X \sigma_Y}{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} \right);$$

$$\overline{X} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1, j=1}^{m, n} x_{ij}, \quad \overline{Y} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1, j=1}^{m, n} y_{ij},$$

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{(m-1)(n-1)} \sum_{i=1, j=1}^{m, n} (x_{ij} - \overline{X})^2, \quad (1)$$

$$\sigma_Y^2 = \frac{1}{(m-1)(n-1)} \sum_{i=1, j=1}^{m, n} (y_{ij} - \overline{Y})^2,$$

$$\sigma_{XY}^2 = \frac{1}{(m-1)(n-1)} \sum_{i=1, j=1}^{m, n} (x_{ij} - \overline{X})(y_{ij} - \overline{Y}),$$

Первая составляющая выражения является коэффициентом корреляции между изображениями X и Y. Вторая составляющая характеризует сходство средних значений яркостей двух сравниваемых изображений. Третья составляющая характеризует сходство контрастов двух сравниваемых изображений. Чем выше значение SSIM, тем больше совпадают сравниваемые изображения. В последнее время данная мера широко используется в силу того, что она наилучшим образом учитывает особенности восприятия человеческим глазом.

#### **Отношение качество/время обработки алгоритмами интерполяции**

Эффективность применения предварительного масштабирования зависит от выбора алгоритма интерполяции. Интерполяцией или интерполированием в вычислительной математике называется способ нахождения промежуточных значений величины по имеющемуся дискретному набору известных значений. Наиболее распространенные алгоритмы масштабирования: Nearest neighbor (копирование ближайшего соседа); Bilinear – билинейная интерполяция; Bicubic – бикубическая ин-

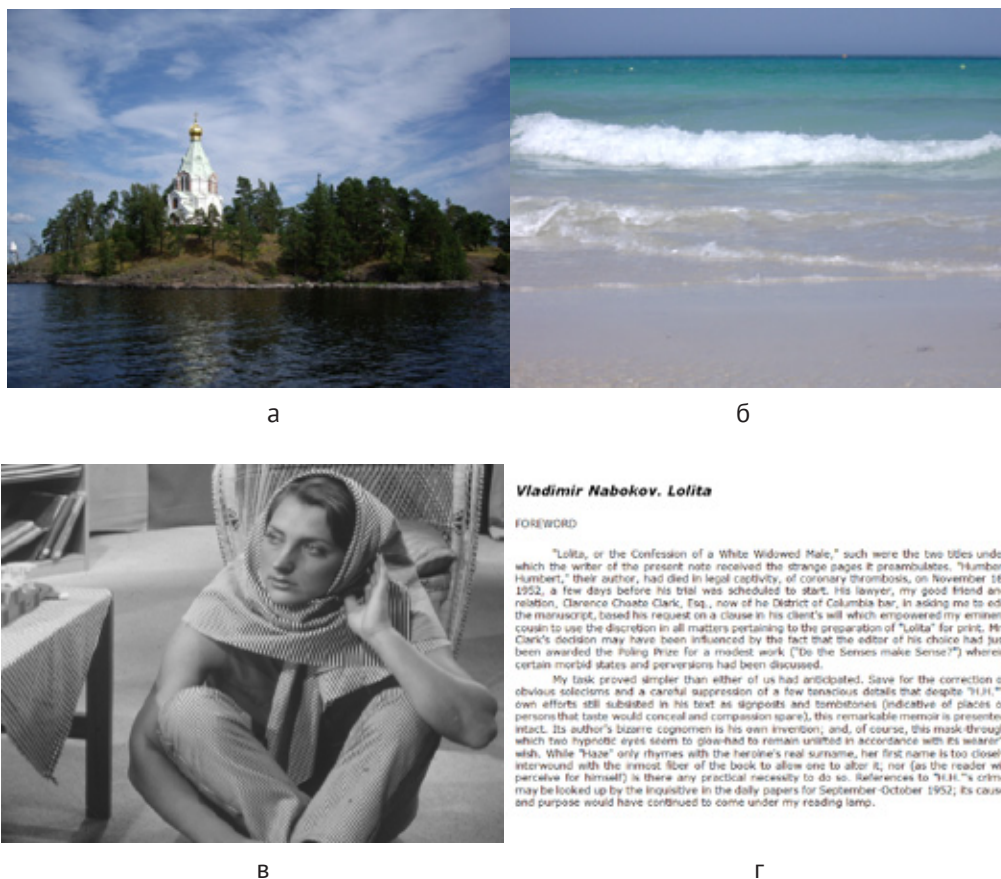


Рис. 2. Тестовые изображения для анализа алгоритмов интерполяции

терполяция; Hermite — основан на интерполяционном полиноме Эрмита; Lanczos; B-spline; Catmull-Rom; Mitchell; Bell; S-Spline.

Чтобы получить полную картину о качестве интерполяции различными алгоритмами необходимо анализировать разные по своей структуре тестовые изображения, которые приведенные на рисунке 2: контрастное — а, размытое — б, монохромное — в и текст — г. Каждое тестовое изображение масштабировалось «вниз» с коэффициентами 1,5, 2, 2,5, ... 7,5, 8, после чего оно масштабировалось до исходного разрешения тестируемым алгоритмом интерполяции, далее вычислялась метрика SSIM для эталонного и «восстановленного» изображения. Результаты вычисления метрики для контрастного изображения с разным коэффициентом масштабирования представлены на графике 1 на рисунке 3, где ось X — алгоритм интерполяции, а ось Y — метрика SSIM.

Из графика видна зависимость коэффициента SSIM от алгоритма интерполяции. С уменьшением коэффициента масштабирования, коэффициент SSIM изображения

после восстановления становится практически равен для всех алгоритмов интерполяции. Можно сделать вывод, что с увеличением коэффициента масштабирования исчезает разница в качестве между ними. Лидирующую позицию занимают алгоритмы Catmull-Rom и Bicubic.

На следующем этапе определим зависимость качества масштабирования от типа изображения. Целесообразно использовать небольшой коэффициент масштабирования, поэтому отмасштабируем «вниз» все тестовые изображения с коэффициентом 1,5. Полученные изображения восстановим до исходного тестируемыми алгоритмами интерполяции и вычислим метрику SSIM для них. Результат вычислений представлен в виде графика.

График на рисунке 4 показывает для всех типов изображений прослеживается зависимость качества изображения от алгоритма интерполяции. Как и в первом случае, лидирующую позицию занимают алгоритмы Catmull-Rom и Bicubic. Усредненные экспериментальные данные, полученные для каждого изображения приведены в таблице 1.

Таблица 1

	B-spline	S-spline	Mitchell	Bell	Ближайшее соседнее	Hermite	Lanczos	Catmull-Rom	Bilinear	Bicubic
SSIM	0,7509	0,7509	0,7629	0,7753	0,7754	0,7796	0,7817	0,7899	0,7904	0,7965

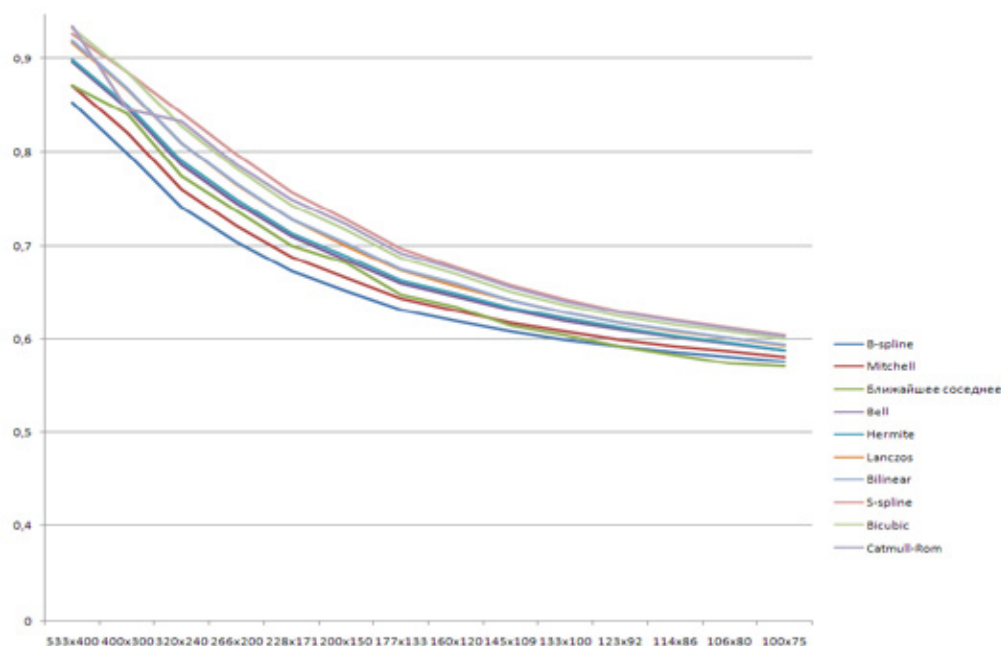


Рис. 3. График метрики SIMM для контрастного изображения с разным коэффициентом масштабирования

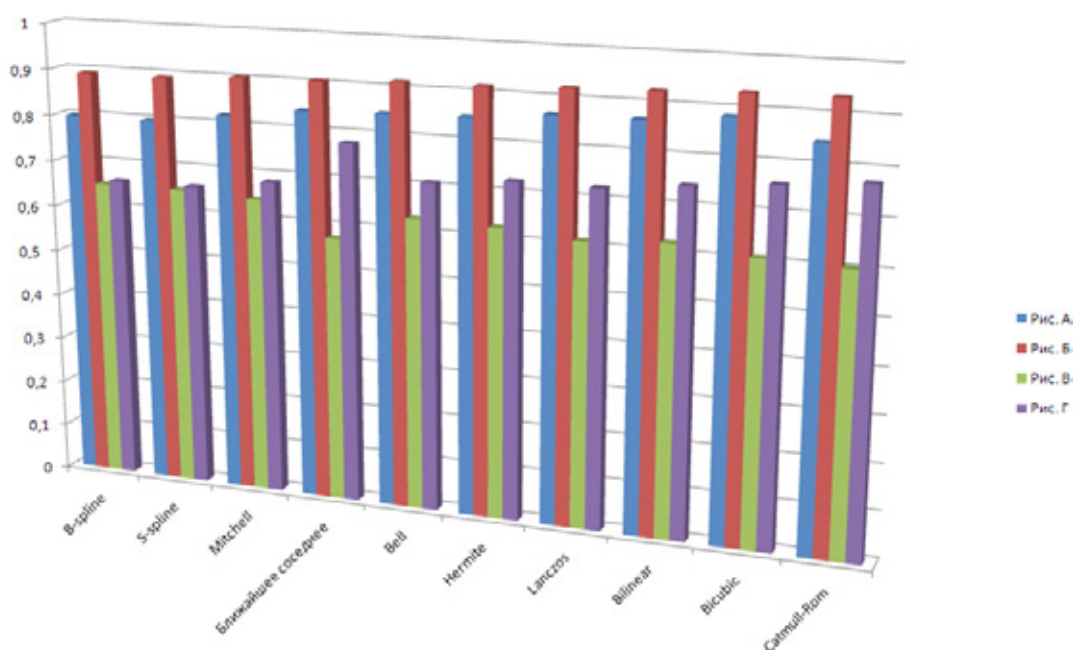


Рис. 4. График метрики SIMM для каждого вида типов изображений

Алгоритм Catmull-Rom практически везде показывал наилучшие результаты, но в некоторых случаях метрика SSIM сильно выбивалась. Это повлияло на результаты усреднения и лидирующие позиции заняли алгоритмы Bicubic и Bilinear, как показывающие наиболее стабильные результаты для всех групп изображений с различными коэффициентами масштабирования.

Для оценки времени работы алгоритмов масштабирования измерялось время работы их программной реали-

зации. Исходное изображение с разрешением было отмасштабировано вниз с 7-ю разными коэффициентами  $K$ , которые приведены в таблице 2.

Каждое сжатое изображение восстанавливалось до исходного разрешения перечисленными выше методами, время восстановления заносилось в таблицу 3.

По табличным данным была построен график, приведенный на рисунке 5, где ось  $X$  — разрешение изображения в dpi,  $Y$  — время работы алгоритма в мс,  $Z$  — алгоритм масштабирования.



Таблица 2

К	Разрешение	К	Разрешение
2	400x300 dpi	6	133x100 dpi
3	266x200 dpi	7	114x86 dpi
4	200x150 dpi	8	100x75 dpi
5	160x120 dpi		

Таблица 3

	Ближайшее соседнее	Hermite	Bilinear	B-spline	Bell	S-spline	Mitchell	Lanczos	Bicubic	Catmull-Rom
400x300 dpi	17	21	21	24	24	27	28	28	28	28
266x200 dpi	16	20	20	24	24	27	28	28	28	28
200x150 dpi	15	19	19	23	23	25	26	26	26	26
160x120 dpi	15	19	19	22	22	24	25	25	25	25
133x100 dpi	15	19	19	22	22	24	25	25	25	25
114x86 dpi	14	19	18	22	22	24	25	25	25	25
100x75 dpi	14	18	18	22	21	23	24	24	24	25

Из графика видно, что чем меньше разрешение изображения, тем быстрее оно масштабируется. Как и следовало ожидать самым быстрым оказался метод ближайшего соседа, а самыми долгими — методы на основе сплайнов.

Алгоритмы масштабирования по скорости работы можно разделить на четыре группы:

1. Ближайшее соседнее;
2. Bilinear, Hermite;
3. B-spline, Bell;
4. S-spline, Mitchel, Lanczos, Bicubic, Catmull-Rom.

Качество масштабируемой картинки растет с увеличением времени работы алгоритма масштабирования. Можно смело утверждать, что чем меньше разрешение у восстанавливаемого изображения, тем ниже будет качество и больше времени потребуется алгоритму масштабирования на его восстановление до исходного размера. Это справедливо для всех алгоритмов масштабирования.

Интерес представляет сравнение алгоритмов масштабирования друг с другом. Самый долгий алго-

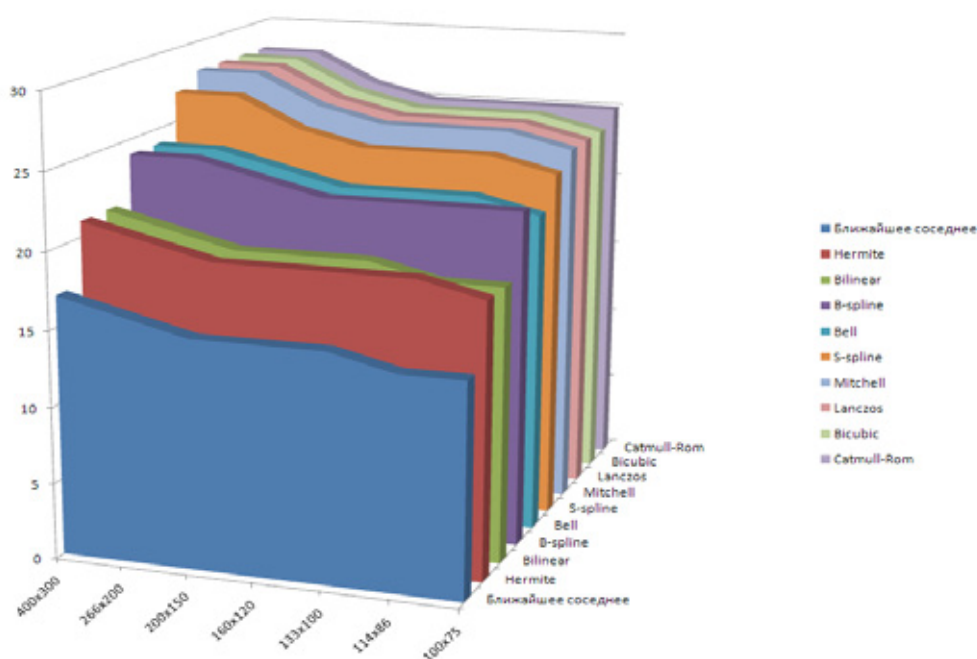


Рис. 5. Зависимость времени работы алгоритма масштабирования от алгоритма масштабирования и разрешения изображения



ритм Catmull-Rom вопреки ожиданиям не оказывается самым лучшим по качеству получаемой картинке, самый быстрый алгоритм «Ближайшее соседнее» при небольшом коэффициенте компрессии оказывается лучше B-spline и Mitchel. Принимая во внимание количественную оценку качества алгоритмов масштабирования можно сказать, что алгоритм Bilinear является фаворитом, так как при минимальных временных затратах на выходе получается отмасштабированное изображение в хорошем качестве.

### **Оптимальное соотношение коэффициентов масштабирования и компрессии**

От коэффициента масштабирования  $K_z$  и компрессии  $K_c$  при использовании предварительного масштабирования зависит размер изображения  $K_s$ . Коэффициент масштабирования это некое число от 1, пропорционально которому меняется разрешение изображения, а коэффициент компрессии — коэффициент сжатия изображения от 100 до 1. Для каждого значения  $K_s$  можно построить график зависимости качества изображения, восстановленного после сжатия, от отношения коэффициентов масштабирования и компрессии. Эта зави-

симость позволит определить наилучшие сточки зрения качества по метрике SSIM значения  $K_z$  и  $K_c$  при конкретном  $K_s$ .

Будем сравнивать изображения двух групп. Первая группа получена сжатием исходного изображения с помощью алгоритма JPEG без масштабирования с коэффициентом компрессии от 1 до 100. Вторая группа изображений получена сжатием с помощью алгоритма JPEG предварительно отмасштабированного изображения с различными значениями коэффициента  $K_z$ .

Первое тестовое изображение — пейзаж, показанный на рисунке 3а. По результатам обработки была составлена таблица с размерами файлов всех полученных после сжатия изображений. Номера строк соответствуют коэффициенту  $K_c$ . Всего было получено 1400 изображений. Фрагмент полученных данных приведен в таблице 4.

Из полученных табличных данных были сегментированы 27 групп файлов с приблизительно равными размерами (выделены цветом). Фрагмент полученных данных приведен в таблице 5. Первый столбец таблицы — среднее арифметическое размера файла группы по строке, т.е. одна строка — группа файлов одного размера.

В таблице 6 приведен фрагмент полученных данных, в которых вместо размеров из таблицы 5 приведены ко-

Таблица 4

	177x133 dpi	160x120 dpi	145x109 dpi	133x100 dpi	123x92 dpi	114x86 dpi
95	10,7100 кб	8,5810 кб	7,4650 кб	6,5690 кб	5,7040 кб	5,1000 кб
96	11,8670 кб	9,5280 кб	8,2920 кб	7,3050 кб	6,3450 кб	5,6680 кб
97	13,2430 кб	10,6300 кб	9,2320 кб	8,1500 кб	7,0640 кб	6,3120 кб
98	15,0170 кб	12,0500 кб	10,4730 кб	9,2410 кб	7,9730 кб	7,1610 кб
99	18,3380 кб	14,6360 кб	12,6960 кб	11,1500 кб	9,6130 кб	8,5960 кб
100	20,7040 кб	16,5000 кб	14,2230 кб	12,4590 кб	10,7090 кб	9,6020 кб

Таблица 5

	800x600 dpi	533x400 dpi	400x300 dpi	320x240 dpi	266x200 dpi	228x171 dpi	200x150 dpi
10,392 кб	10,263 кб	10,432 кб	10,201 кб	10,093 кб	10,325 кб	10,426 кб	10,075 кб
11,154 кб	11,236 кб	11,085 кб	11,183 кб	11,032 кб	11,056 кб	11,549 кб	11,879 кб
12,927 кб	13,125 кб	13,200 кб	13,035 кб	13,235 кб	13,464 кб	12,726 кб	12,961 кб
14,738 кб	14,779 кб	14,740 кб	14,829 кб	14,723 кб	14,954 кб	15,026 кб	14,449 кб
15,493 кб	15,650 кб	15,603 кб	15,955 кб	15,751 кб	15,712 кб	15,026 кб	16,084 кб

Таблица 6

	800x600 dpi	533x400 dpi	400x300 dpi	320x240 dpi	266x200 dpi	228x171 dpi	200x150 dpi
10,392 кб	10 $K_c$	25 $K_c$	44 $K_c$	69 $K_c$	81 $K_c$	88 $K_c$	92 $K_c$
11,154 кб	11 $K_c$	27 $K_c$	51 $K_c$	73 $K_c$	83 $K_c$	90 $K_c$	94 $K_c$
12,927 кб	13 $K_c$	34 $K_c$	60 $K_c$	80 $K_c$	88 $K_c$	92 $K_c$	95 $K_c$
14,738 кб	15 $K_c$	39 $K_c$	67 $K_c$	83 $K_c$	90 $K_c$	94 $K_c$	96 $K_c$
15,493 кб	16 $K_c$	42 $K_c$	70 $K_c$	85 $K_c$	91 $K_c$	94 $K_c$	97 $K_c$

Таблица 7

	800x600dpi	533x400dpi	400x300dpi	320x240dpi	266x200dpi
4,2891 кб	0,7589	0,8255	0,8299	0,8271	0,821
4,8337 кб	0,7881	0,8334	0,8349	0,8324	0,8246
5,5214 кб	0,8114	0,8435	0,8428	0,8381	0,8285
6,4063 кб	0,8291	0,8518	0,8505	0,8439	0,8334
7,2875 кб	0,8436	0,8588	0,8573	0,849	0,8381
8,2724 кб	0,8552	0,8669	0,8614	0,8529	0,8426
10,3915 кб	0,8733	0,8794	0,8709	0,8599	0,8495
11,1541 кб	0,8802	0,8827	0,8741	0,8628	0,8512
12,9267 кб	0,8916	0,8911	0,8793	0,8689	0,8566
14,7376 кб	0,9004	0,8959	0,8842	0,8719	0,8594

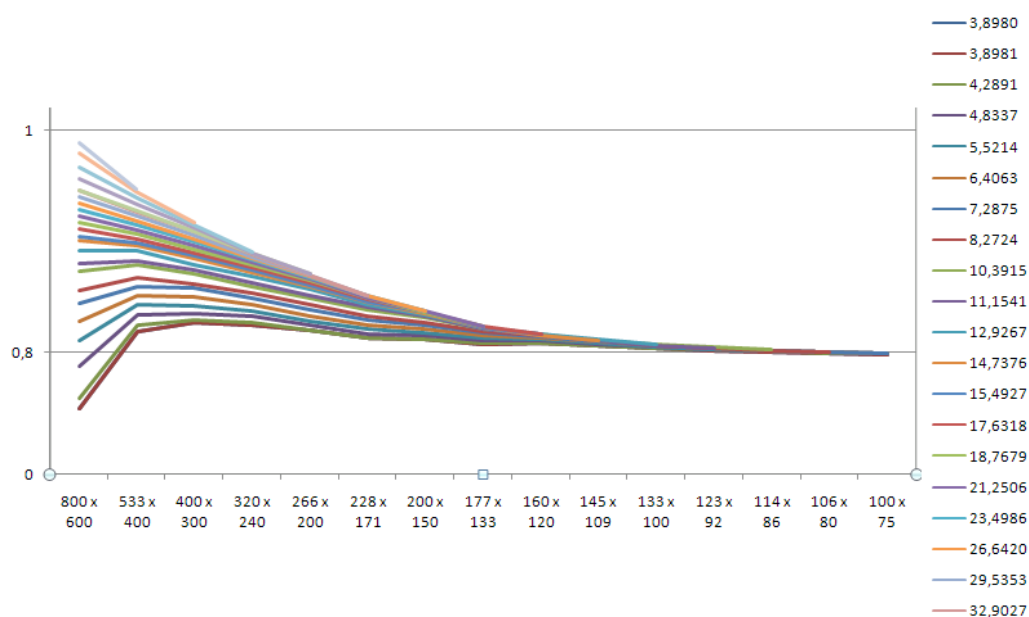


Рис. 6. Результат вычисления мер

эффиценты компрессии. Наглядно видно, что для получения изображения некоего фиксированного размера  $K_S$  можно варьировать коэффициентами  $K_Z$  и  $K_C$  в достаточно широких пределах.

Следующий шаг это оценка качества восстановленных изображений с помощью меры SSIM, фрагмент таблицы с результатами оценки приведен в таблице 7. Качество отмасштабированных перед JPEG компрессией изображений, превышает качество не масштабированных изображений, начиная с группы со средним размером 11,1541 кб, которому соответствует коэффициент сжатия 12 алгоритмом JPEG.

Графика на рисунке 6 отображает табличные данные,

где ось X — разрешение изображения, т.е. коэффициент масштабирования, ось Y — значение меры SSIM, каждая линия — соответствующий коэффициент компрессии.

Всего было обработано 5600 изображений. Пороговые значения коэффициентов компрессии, при которых качество восстановленного изображения после сжатия с предварительным масштабированием превышает качество восстановленного изображения после сжатия без масштабирования, для разных типов изображений приведены в таблице 8.

Как видно из таблицы 8, пороговое значение коэффициента компрессии, после превышения которого есть смысл использовать предварительное масштабирование,

Таблица 8

	Контрастное	Черно-белое	Размытое	Текст
Коэффициент компрессии $K_C$	13	16	11	46

зависит от типа изображения. Усреднив данные можно сказать, что при JPEG компрессии с коэффициентом большим 22 есть смысл использовать предварительное масштабирования для повышения качества.

### **Оценка симметричности метода**

Использование предварительного масштабирования для повышения качества видеопотока предполагается по схеме, представленной на рисунке 7. Исходное изображение предварительно масштабируется вниз с помощью алгоритма Bilinear, сжимается алгоритмом компрессии JPEG и передается по каналу передачи. После передачи изображение восстанавливается алгоритмом компрессии, после чего масштабируется вверх алгоритмом масштабирования. Оценим симметричность работы этой схемы.

Важная характеристика видеопотока это количество кадров в секунду. Чем она выше, тем более плавным и естественным будет казаться зрителю движение на экране. Минимальное значения этой характеристики является частота 16 кадров в секунду (англ. fps). В традиционном кинематографе используется частота 24 fps, системы телевидения PAL и SECAM используют 25 fps, а система NTSC 29.97 fps [8].

Следующая характеристика это разрешение. Для обычного аналогового телевидения в стандартах PAL и SECAM, разрешение составляет 720x576 пикселей, для стандарта NTSC оно составляет 720x480 пикселей.

Существует три стандарта телевидения с высокой четкости [9, 10]:

720p: 1280x720 точек, прогрессивная развертка, 24 fps, 25 fps, 30 fps, 50 fps и 60 fps

1080i: 1920x1080 точек, чересстрочная развертка 50 fps и 60 fps.

1080p: 1920x1080 точек, прогрессивная развертка, 24 fps, 25 fps и 30 fps.

Канала передачи данных имеет пропускную способность, которая накладывает ограничение на размер передаваемого изображения, т.к. необходимо исключить временные задержки на стороне пользователя. В таблице 9 приведены допустимые размеры кадров для видео с разным количеством кадров в секунду, передаваемым по каналам передачи данных. Частота 50 fps и 60 fps используются для 3D видео и из дальнейшего рассмотрения выбывают.

Чтобы использовать канала с пропускной способностью 128 кб/сек изображения для стандартов PAL и SECAM необходимо сжимать алгоритмом JPEG с коэффициентом компрессии 7, в этом случае размер полученного файла составит примерно 4,9 кб. Исходя из оптимального соотношения коэффициентов масштабирования и компрессии, сначала отмасштабируем изображение вниз с коэффициентом масштабирования 2, а потом сожмем алгоритмом JPEG с коэффициентом компрессии 29. Полученное изображение, как и задумывалось, примерно равно по размеру изображению, полученному без предва-

рительного масштабирования, его размер составил так же 4,9 кб. Теперь сравним изображения после передачи по каналу и декомпрессии. На рисунке 8 представлено изображение без использования предварительного масштабирования, на рисунке 9 использованием. Разница очевидна, изображение с использованием предварительного масштабирования лучше по качеству с точки зрения восприятия человеческим глазом. Если посчитать метрику SSIM, получим следующие данные: изображение, полученное с использованием предварительного масштабирования 0,8420, сжатое просто JPEG 0,8046. Для передачи других стандартов этот канал не подходит. В таблице 10 приведены данные для других каналов передачи данных и других видеостандартов.

Для передачи видеопотока PAL/SECAM по каналу с пропускной способностью 128 кб/с каждый кадр необходимо отмасштабировать вниз с коэффициентом 2, на что потребуется 7,56 мс, сжать алгоритмом JPEG с коэффициентом компрессии 29, на что потребуется 5 мс. После передачи по каналу изображение декомпрессируем алгоритмом JPEG, исходя из того что алгоритм JPEG симметричен [11], декомпрессия не превысит 5 мс, масштабирование изображения до исходного размера займет 10,75 мс. Итого компрессия займет 12,56 мс., а декомпрессия 15,75 мс. В таблице 11 приведено время работы для всех рассматриваемых каналов передачи данных.

Масштабирование изображения вниз занимает меньше времени, чем масштабирование вверх, т.е. само по себе масштабирование не симметрично. Поэтому использование предварительного масштабирования для повышения качества изображения так же не симметрично. Больше всего времени требуется, чтобы восстановить изображение, примерно в 1,2 раза больше. При частоте кадров 25 fps, обработка одного кадра должна не превышать 40 мс. Этому требованию соответствуют два канала передачи данных 128 кб/с и 256 кб/с.

### **Выводы**

Оценив полученные результаты, можно рекомендовать следующее:

Если коэффициент компрессии алгоритмом JPEG превышает 22, то использование предварительного масштабирования повышает качество восстановленного изображения.

Качество изображения имеет максимальное значение при небольшом коэффициенте масштабирования вниз, с увеличением коэффициента масштабирования вниз и уменьшением коэффициента компрессии качество падает. Целесообразно использовать небольшие коэффициенты масштабирования вниз.

Несмотря на то, что масштабирование не симметрично, эта несимметричность не сильно сказывается на времени работы. Это позволяет использовать предварительное масштабирование для повышения качества видеопотока.

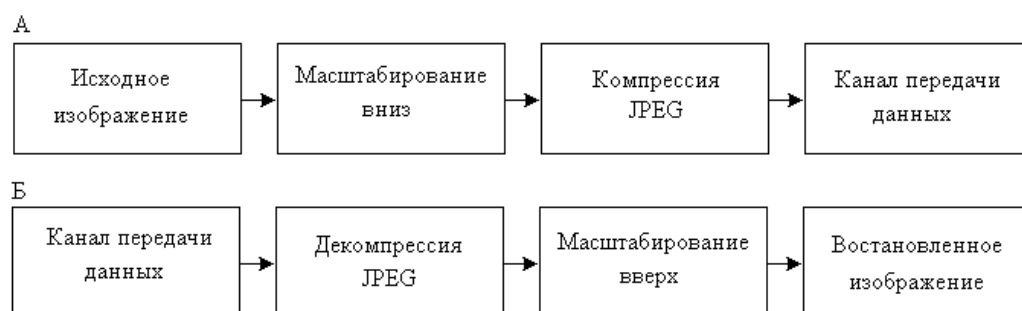


Рис. 7. Схема использование предварительного масштабирования

Таблица 9

	24 dpi	25 dpi	30 dpi
128 кб/сек	5,33 кб	5,12 кб	4,26 кб
256 кб/сек	10,66 кб	10,24 кб	8,53 кб
512 кб/сек	21,33 кб	20,48 кб	17,06 кб
1024 кб/сек	42,66 кб	40,96 кб	34,13 кб

Таблица 10

	SIMM без масштабирования	Коэффициент компрессия JPEG без масштабирования	SIMM с предварительным масштабированием	Коэффициент предварительного масштабирования	Коэффициент компрессия JPEG с масштабированием	Размер кадра
128 кб/с (PAL и SECAM)	0,8046	7	0,8420	2	29	4.9 кб
256 кб/с (HDTV 720p с dpi 24 и 25)	0,7901	5	0,8683	2	20	8,5кб
512 кб/с (HDTV 1080i и 1080p с dpi 24)	0,7740	4	0,8763	2	20	19 кб

Таблица 11

	Масштабирование вниз	Компрессия JPEG	Итого	Масштабирование вверх	Декомпрессия JPEG	Итого
128 кб/с (PAL и SECAM)	7,56 мс	5 мс	12,56 мс	10,75 мс	5 мс	15,75 мс
256 кб/с (HDTV 720p с dpi 24 и 25)	17,84 мс	11 мс	28,84 мс	22,38 мс	11 мс	33,38 мс
512 кб/с (HDTV 1080i и 1080p с dpi 24)	43,9 мс	24 мс	67,9 мс	48,56	24 мс	72,56 мс



Рис. 8. PAL/SECAM без применения предварительного масштабирования

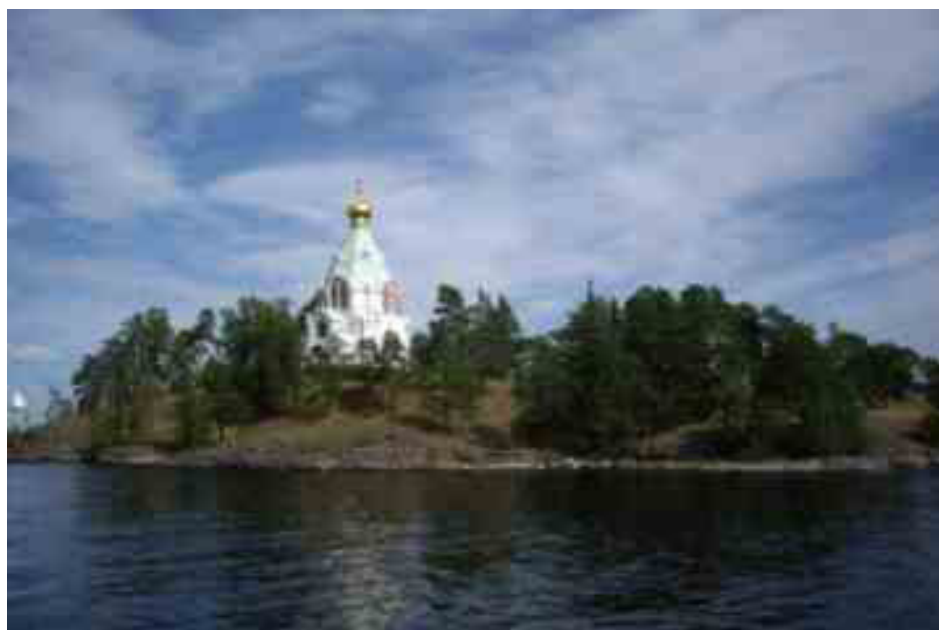


Рис. 9 PAL/SECAM с применением предварительного масштабирования

### **Литература**

1. Макаров В.В. Телекоммуникации России: состояние, тенденции и пути развития. М.: Ириас, 2007. — 296 с.
2. Ричардсон Я. Вideoкодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения. — М.: Техносфера, 2005. — 386 с.
3. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. — М.: Диалог-МИФИ, 2002. — 384 с.
4. Монич Ю.И., Старовойтов В.В. Оценки качества для анализа цифровых изображений. — М.: Искусственный интеллект, 2008. — 376 с.
5. Гугель Ю.В., Гуров В.С., Гуров И.П., Семенов Н.В., Шалаев М.А. Оценка качества передачи динамических изображений в формате треп по реальным каналам связи // VII Всероссийская научно-методическая конференция «Телематика'2000». — 1 с.



6. Wang Z., Bovik A.C. Modern image quality assessment. — N.Y.: Morgan & Claypool, 2006. — 157 с.
7. Wang Z., Simoncelli E.P. Translation insensitive image similarity complex wavelet domain // IEEE Inter. Conf. Acoustic, Speech and Signal Processing. — Philadelphia, 2005. — V. 2. — P. 673–676.
8. Калиткин Н.Н. Численные методы М.: Наука, 1978 г. — 27 с.
9. Ive J. Image formats for HDTV. — Geneva.: EBU TECHNICAL REVIEW, 2004. — 2 — 9 с.
10. Hight Definition (HD) Image Formats for Television Production — Geneva.: EBU TECHNICAL REVIEW, 2010. — 5 с.
11. Keith J. Video demystified: a handbook for the digital engineer — Burlington.: Newnew, 2007 — 242–249 с.

## Управление движением змеевидного микроробота

Поезжаева Е.В., кандидат технических наук, профессор; Юшков В.С., аспирант  
Пермский государственный технический университет

В настоящее время одной из основных тенденций современных технологий является уменьшение размеров компонентов, устройств и машин, входящих в технологические процессы и выполняющих производственные операции.

Принципы движения микророботов и реализующие эти принципы механические системы определяются их назначением, средой, в которой происходят движения, требованиями к выполнению поставленной задачи и условиями движения [1].

Строительство сложных инженерных сооружений, создание разветвленных трубопроводных систем промышленных установок, крупных надводных и подводных судов гражданского и военно-морского флота ставят в настоящее время вопрос о разработке транспортных средств, передвигающихся по произвольно расположенным в пространстве поверхностям, а также внутри различных судов и трубопроводных систем. Рабочими средами, в которых осуществляется движение, могут быть воздух, вода, вязкие жидкости и т.п.

Микророботы могут выполнять следующие действия:

- техническая диагностика и ремонт трубопроводов малых диаметров на всех видах транспорта, в ракетных комплексах, главных энергетических установках подводных и надводных кораблей, в космических аппаратах;
- техническая диагностика трубопроводов в шахтах, подземных помещениях, хранилищах взрывчатых и радиоактивных веществ.

Разработка автономных микророботов змеевидного типа является одной из актуальных задач микроробототехники в транспорте. Одной из решаемых задач при разработке змеевидных микророботов является создание систем управления, на основе микропроцессорной техники с применением различных алгоритмов. В супервизорном режиме управления движением микроробота система управления строится в микропроцессорном выполнении с отображением на мониторе.

Передвижение по прямолинейному участку показано на рис. 1. Система управления микророботом при обходе препятствия показана на рис. 2, имеет цель осуществить

взаимодействие между необходимым числом управляющих контроллеров для обеспечения устойчивости общего управления.

Каждый контроллер характеризуется устойчивым номинальным законом, представляемым в виде следующей функции:

$$F_i(P_i, t) = \eta_i(P_i, t)$$

Функция адаптации задействуется в схеме блоком «адаптация параметров» каждый раз, когда наступает одновременное включение контроллеров. Блок «адаптация параметров» получает на вход информацию от блока «условий», который осуществляет проверку — отличается или нет контроллер, приводимый в действие в текущий момент времени  $t$ , от контроллера, который был приведен в действие в момент  $t - \Delta t$ . Если ответ «да», то включается функция адаптации, т.е. блок «адаптация параметров». Задача предложенной архитектуры управления микророботом является обнаружение датчиками препятствия на пути следования к цели и подачи сигналов о необходимости обхода препятствия. За управляемую позицию принимается точка робота с координатами  $(l_x, l_y)$ .

Для выполнения задания необходимы управляющий контроллер, который ведет робот по направлению к цели, и контроллер обхода препятствия.

Для контроллера, ведущего микроробот к цели, может быть использована классическая схема линейной стабилизации:

$$e_x = x - x_T,$$

$$e_y = y - y_T.$$

При этом точка  $(x, y)$  соответствует положению робота, а  $(x_T, y_T)$  — положению цели.

Организация волнообразующего движения змеевидного тела формализована заданием уравнений, определяющих форму тела для любого момента времени. Уравнения, описывают волнообразное движение змеи микроробота в трубах автомобиля. Формулы для оценки скорости центра масс показывают, что скорость перемещения по поверхностям определяется параметрами пространственной бегущей волны.

Для организации движения змеевидного робота, созда-

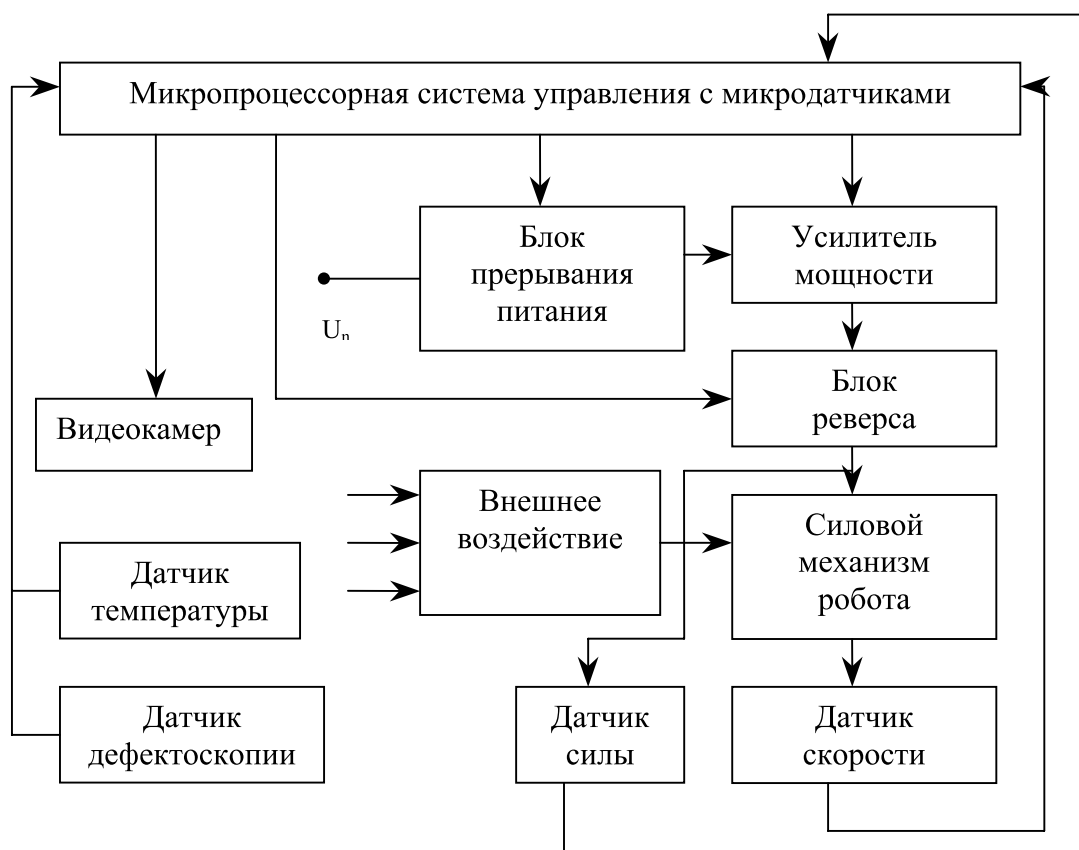


Рис. 1 Блок-схема управления микророботом

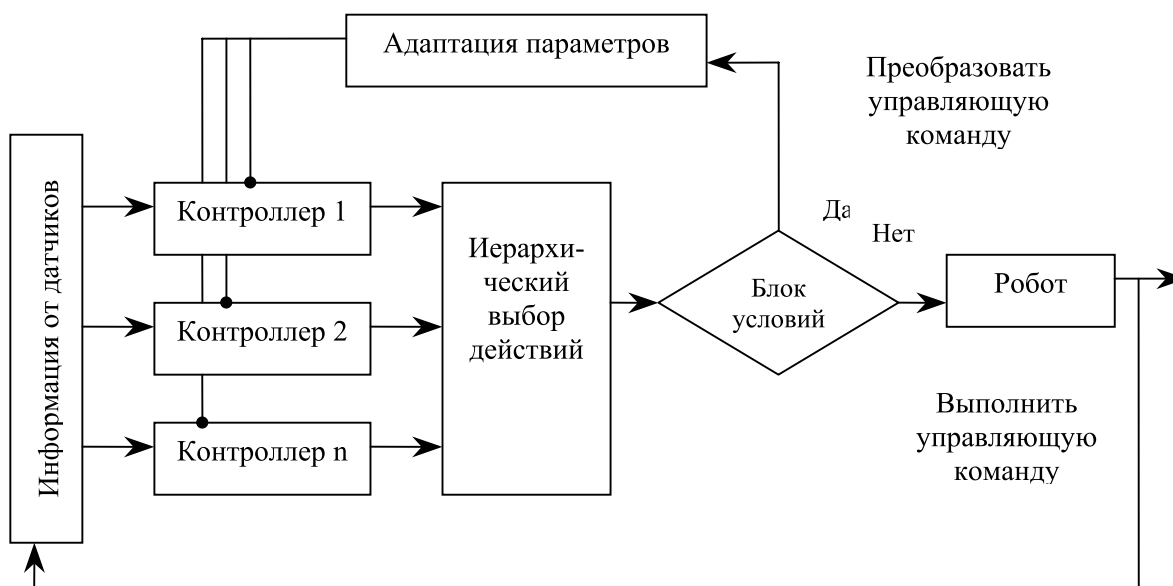


Рис. 2 Архитектура управления микророботом при обходе препятствия

ется математическая модель. Соотношение длин волн и относительного сдвига фаз выбирается так, чтобы обеспечить формирование изолированных областей контакта тела робота и опорной поверхности и обеспечить качение опорных модулей в зоне контакта. При движении микроробота по плоской поверхности в неизменном направлении бегущие волны изгибной деформации в двух перпендикулярных плоскостях перемещаются в одну и ту же сторону вдоль его многогранного тела.

Для осуществления передвижения и манипуляций многомодульного змеевидного робота в каждый момент времени задается межзвенный относительный угол  $\varphi[i]$  в каждом приводе шарнира, где  $i \in (1, N-1)$ , вычисляемый как разность двух абсолютных углов поворота соседних вилок – корпусов  $\varphi[i] = \psi[i+1] - \psi[i]$ ,  $i \in (1, N)$  для каждой степени подвижности. Для задания абсолютного угла звена используется формула [2]:

$$\psi(i) = \psi_0 \sin\left(\frac{2\pi}{N_w}(i - Vt) + \Delta\right), \text{ где } V = \frac{N_w}{T},$$

где  $\psi_0$  – амплитудный угол;

$N_w$  – количество звеньев участвующих в волне;

$T$  – период колебаний волны;

$\Delta$  – сдвиг фаз ортогональных волн;

$i$  – номер шарнира являются параметрами формируемой волны изгибаний.

Скорость центра масс механизма [3]:

а) для прямолинейного движения имеет вид:

$$V = \frac{N_w}{T} \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_w} \cos(\psi_i)}{N_w} - 1 \right),$$

б) для бокового движения:

$$V = \frac{N_w}{T} \sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^{N_w} \cos(\psi_i)}{N_w} \right)^2 - 2 \frac{\sum_{i=1}^{N_w} \cos(\psi_i)}{N_w} \cdot \cos(\psi_0) + 1}.$$

Для оценки скорости перемещения микроробота выбираются параметры движения горизонтальной плоскости. По оценке скорости перемещения оценивается расстояние, на которое микроробот должен переместиться за заданный промежуток времени.

Алгоритм планирования движения микроробота по заданной траектории состоит из следующих этапов:

1) заданная траектория разбивается на отрезки;

2) в абсолютных координатах определяется угол, на который должен повернуть микроробот при переходе с одного отрезка на другой;

3) выбираются параметры, которые будут реализовываться при движении микроробота по траектории;

4) по длинам отрезков и оценочной скорости перемещения микроробота высчитываются моменты времени, в которые должен произойти переход с одного отрезка на другой;

5) формируются абсолютные углы поворота звеньев волн для реализации движения микроробота.

Интенсивное развитие в последние годы нанотехнологий и нанохимии способствует открытиям новых материалов, которые при нагреве или охлаждении и при прохождении через них электрического тока, или при других воздействиях деформируются, изгибаются, сжимаются или удлиняются.

Кроме автономных активных микророботов с внутренним источником электроэнергии, для перемещения в различных средах могут применяться пассивные робототехнические устройства на основе новых материалов. Составленные из комбинаций подобных элементов механизмы микророботов могут сообщать их гибким оболочкам самые разнообразные деформации.

После проведенного нами анализа мы выделили следующие тенденции развития микроробототехники:

а) разработка алгоритмов и математических моделей по конструированию микророботов;

б) развитие мехатронного подхода к созданию микророботов;

в) уменьшение габаритов функциональных модулей;

г) разработка новых наноматериалов;

д) использование биотехнологий и биомеханики для создания микророботов.

Таким образом, микроробототехника является одним из важных перспективных направлений разработки средств современной техники в интересах ведущих отраслей промышленности. Развитие определяющих научно-технический прогресс отраслей промышленности, таких как энергетика, в том числе атомная энергетика, промышленное оборудование газонефтедобывающих и перерабатывающих отраслей, машиностроение, медицинская техника, биотехнология, связано с повышением производительности и качества конечного продукта, что ведет к усложнению технологических процессов производства и их автоматизации. Создание автоматических и роботизированных систем диагностирования труб с новыми свойствами невозможно без микророботов, как одних из средств автоматизации. Поэтому, микроробототехника актуальна и совершенно необходима в проверке и исправлении дефектов труб различного назначения.

## Литература

1. Градецкий В.Г., Князьков М.М., Фомин Л.Ф., Чашухин В.Г. Механика миниатюрных роботов; Ин – т проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН. – М.: Наука, 2010. – 271 с.
2. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники: в 2 кн./ А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес; под ред. С.М. Каплунова; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М.: Наука, 2006. Кн. 1. – 383 с. – Кн. 2. – 376 с.
3. Поезжаева Е.В. Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. / Е.В. Поезжаева. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – Ч. 1. – 64 с.

## Исследование долговечности дорожной горизонтальной разметки в климатических условиях Урала

Юшков Б.С., кандидат технических наук, профессор; Бургунутдинов А.М., доцент; Юшков В.С., аспирант  
Пермский государственный технический университет

Обеспечение безопасности дорожного движения является народнохозяйственной задачей. В условиях крупных городов со сложившейся исторической планировкой не всегда возможно решение транспортной проблемы путём строительства новых магистралей и улиц. Подобные решения требуют значительных капиталовложений и времени реализации. При этом значительный рост парка транспортных средств и динамика аварийности требует принятия действенных эффективных мер.

Среди технических средств организации дорожного движения разметка дороги занимает особое место. Основными отличиями и, по сути, преимуществами именно дорожной разметки над дорожными знаками, светофорами, направляющими устройствами являются следующие [1, 2]:

- во-первых, дорожная разметка практически постоянно находится в поле зрения водителей, что позволяет оперативно воспринимать информацию и реагировать на неё.
- во-вторых, дорожная разметка позволяет с высокой точностью обозначить границы допустимого или запрещенного манёвра, действия, как водителей, так и пешеходов.

Правильный выбор материалов для разметки в зависимости от условий их эксплуатации является наиболее эффективным способом повышения долговечности и уменьшения аварийности на дорогах.

Для выполнения данной работы и исследований был выбран полигон и проведены наблюдения по определению интенсивности и состава движения табл. 1.

Эксперимент проводился с применением разметочной машины, которая имеется на кафедре САД ПГТУ рис. 1.

Условия движения на участке нанесения разметки существенным образом влияют на скорость износа разметки, которая зависит от интенсивности движения. Так, в результате экспериментов была выведена следующая зависимость [3]:

$$И = N^4,$$

где И — износ разметки;

N — нагрузка на ось автомобиля.

Испытания показали, что износостойкость лакокрасочных материалов резко уменьшается при эксплуатации в условиях зимнего периода, причем особенно сильное понижение происходит при колебаниях от положительных температур к отрицательным и наоборот.

Таблица 1  
Среднесуточная интенсивность движения

№ изм.	Дата и время учета	N, тр.ед/сут	Направление
1.	24 мая с 14.00 до 15.00 четверг	4935	Гайва-Пермь
		4326	Пермь-Гайва
2.	25 мая с 14.00 до 15.00 пятница	4868	Гайва-Пермь
		4973	Пермь-Гайва
3.	26 мая с 14.00 до 15.00 суббота	3671	Гайва-Пермь
		3240	Пермь-Гайва
4.	27 мая с 14.00 до 15.00 воскресенье	2648	Гайва-Пермь
		2540	Пермь-Гайва
5.	29 мая с 16.00 до 17.00 вторник	6532	Гайва-Пермь
		5876	Пермь-Гайва
6.	30 мая с 17.00 до 18.00 среда	7266	Гайва-Пермь
		8513	Пермь-Гайва
7.	1 июня с 12.00 до 13.00 пятница	5497	Гайва-Пермь
		5329	Пермь-Гайва
8.	2 июня с 10.00 до 11.00 суббота	5051	Гайва-Пермь
		4569	Пермь-Гайва
9.	3 июня с 14.00 до 15.00 воскресенье	4937	Гайва-Пермь
		4261	Пермь-Гайва
10.	7 сентября с 12.00. до 13.00 пятница	6187	Пермь-Гайва
		6521	Гайва-Пермь



Рис. 1. Разметочная машина

**Износостойкость обуславливается рядом факторов:**

1. структурно-реологическими и деформативными свойствами разметочного материала;
2. деформативными свойствами асфальтобетонного покрытия;
3. взаимодействием разметочного материала с материалом покрытия автодороги (адгезией к покрытию);
4. влиянием климатических условий, особенно воздействием переменных температур (от положительных к отрицательным и наоборот);
5. присутствием замерзающей и оттаивающей в порах материалов воды;
6. величиной эксплуатационной нагрузки.

Другим способом определения степени износа горизонтальной дорожной разметки является цифровой снимок

Задается точность разделения областей разметки и покрытия путем выбора градации серого цвета, с которым будут сравниваться точки разметки, при подсчете степени износа. Чем больше выбрано значение (белее цвет), тем

больше значение износа. На фотоснимке выделяется область анализа разметки.

Степень износа разметки определяется автоматически, как отношение количества точек, попавших в заданную область яркости разметки, к общему количеству точек выделенной области:

$$k = B/T1 \cdot 100\%$$

где В — количество точек, цвет которых не соответствует разметке;

Т — общее количество точек выделенной области.

Для точного задания контура линии разметки удобнее пользоваться шаблоном (рис. 2).

Коэффициенты температурного расширения и сжатия (деформативные свойства) разметочных материалов, как и их износостойкость, определяются, главным образом, влиянием полимера-связующего в рецептуре материала, тогда как для асфальтобетона они зависят, в основном, от наполнителя. Поэтому деформативные свойства этих материалов всегда будут разными.

Очень прочное сцепление (высокая адгезия) между та-



Рис. 2. Съемка участка линии разметки с шаблоном



кими продуктами, как краски дорожной разметки и самим дорожным покрытием в условиях температурных колебаний из-за разницы в деформативных свойствах приводит к трещинам, нарушению сплошности и разрушению разметки.

Срок службы разметки  $T$  (мес.) на автомобильной дороге с конкретной интенсивностью движения транспортных средств определяется по формуле:

$$T = \frac{\alpha \cdot l \cdot H}{30N},$$

где  $\alpha$  — переходный коэффициент стенд/автодорога,  $\alpha = 450$ ;

$l$  — износостойкость на стенде, прох./мкм;

$H$  — толщина слоя, мкм;

$N$  — интенсивность движения, авт./сут.

В соответствии с ГОСТом Р 5256–99, разметка, выполненная термопластиком, холодным пластиком и подобными материалами должна служить не менее одного года, а лакокрасочными материалами — не менее 6 месяцев.

Сотрудниками кафедры САД ПГТУ после проведенных экспериментов была установлена средняя норма расхода разметочного материала табл. 2.

На практике была применена краска АК-539, которая представляет собой суспензию пигмента и наполнителей в растворе акрилового сополимера в толуоле с введением целевых добавок. Работа по разметке дороги проводилась в сухую погоду при температуре от  $+19^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха 65 %.

Не допускается нанесение краски на промерзшую, мокрую и пропитанную водой проезжую часть автомобильных дорог. Время высыхания покрытия составило 15 мин, толщина слоя 0,4–0,6 мм. Норма расхода краски 0,6–0,8 кг/м<sup>2</sup>. Однако данная краска имеет повышенную износостойкость и применяется для краевых полос и дорог с малой интенсивностью.

В настоящее время применяют краску АК-503 «Колор-М», которая предназначена для разметки дорожных покрытий. Краска АК-503 «Колор-М» наносится специальными разметочными машинами (безвоздушным и воздушным способами), а также в ручную с помощью валика, кисти или пистолета на предварительно очищенное дорожное полотно с асфальтобетонным покрытием при температуре не ниже  $+5^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха не более 85 %.

Коэффициент световозвращения разметки  $R_L$ , мкд×лк<sup>-1</sup>× м<sup>-2</sup>, рассчитывают по формуле:

$$R_L = L/E$$

где  $L$  — яркость измеряемой поверхности образца дорожной разметки в условиях освещения и наблюдения, мкд×м<sup>-2</sup>;

$E$  — освещенность измеряемой поверхности образца дорожной разметки в плоскости, перпендикулярной направлению падающего света, лк.

Измерения  $R_L$  (коэффициент ночной видимости, коэффициент световозвращения) производится с помощью ретрорефлектометра (рис. 3).

Для повышения видимости разметки в темное время суток, дождливую и пасмурную погоду сотрудники кафедры САД применили стеклянные микрошарики ШСО-250. Микрошарики наносили распылителем на свеженанесенную разметку (не позднее 10 с), также можно посыпанием вручную. Оптимальным является их заглубление на 50 % в разметку.

Наряду с красками широкое распространение для разметки дорог получили спрейпластики. Этот вид материалов не содержит растворителей, а необходимые для нанесения разметки текучие свойства приобретаются в результате плавления при температуре 150–220° С. Их преимущество перед красками состоит в том, что толщина наносимого слоя увеличивается до 1,5–5,0 мм, но срок службы их одна зима. Это связано с тем, что снегоуборочная техника зимой их снимает.

В наших климатических условиях наиболее распространенным материалом для маркировки дорожных покрытий является краска. Маркировочная краска представляет собой комплексный состав, основными компонентами которого являются наполнитель, пигмент, связующее вещество и растворитель.

Результаты экспериментальных исследований на полигоне разметочных материалов способствуют не только повышению безопасности движения на дорогах, но и послужат составлению технического регламента проведения разметочных работ на территории Пермского края с учетом климатических условий.

Наличие разметки на проезжей части, а также указателей и знаков дисциплинируют поведение и облегчают работу водителей — дальнобойщиков. В нашей стране расстояния между городами огромны, и многим водителям — в особенности дальнобойщикам — часто прихо-

Таблица 2

Средняя норма расхода разметочного материала

Материал	Плотность материала, г/см <sup>3</sup>	Толщина слоя, мм	Средний расход, кг/м <sup>2</sup>
Краска	1,5	0,3–0,35	0,45–0,52
Термопластик	2,0	3,5–4,0	7–8
Холодный пластик	2,5	2,0–2,5	5–6



Рис. 3. Ретрорефлектометр LTL-XL

дится совершать длительные переезды, водители большегрузного транспорта, как и «перегонщики» легковых автомобилей из Европы, стремятся скорее доехать до пункта назначения и часто управляют автомобилями в состоянии сильной усталости. Это приводит к засыпанию за рулем и, как следствие, к выезду в кювет или на встречную полосу. Для предотвращения съезда автомобиля с дороги нами разрабатываются методы снижения аварийности на дорогах с помощью устройства разметки, которая будит водителя.

Одним из способов снижения аварийности дорожного движения является применение виброполосы сплошной продольной разметки.

Этот оригинальный метод заключается в устройстве выемок глубиной до 10 мм, шириной от 10 до 15 см и длиной от 20 до 35 см вдоль дороги рис. 4. Также предусматривается покраска данной виброполосы. Данный размер выемок был получен экспериментально и является наиболее подходящим для снижения аварийности на

автомобильных дорогах. Для нанесения «виброполос» до-рабатывается специальная дробильная машина с крутящимся барабаном. Это очень оригинальное решение, не требующее никаких расходных материалов, кроме топлива для автомобиля, зарплаты водителю и обновления ножей барабана.

Как только колесо грузовой или легковой машины, даже частично, попадает на такую полосу, в салоне раздается резкий неприятный звук, похожий на звук, издаваемый стиральной доской, когда по ней проводят деревянной палочкой. Главная задача «виброполос» — разбудить засыпающих водителей или привлечь внимание отвлекшихся. В зимних условиях такие полосы должны ощущаться даже через снег и лед. При нанесении виброполосы необходимо использовать краску, что повысит видимость разметки с проезжей части.

На начальном этапе исследований, мы провели эксперимент действия «виброполос» на отдельно взятом участке дороги «Гайва — Сосновый бор». Для этого вы-

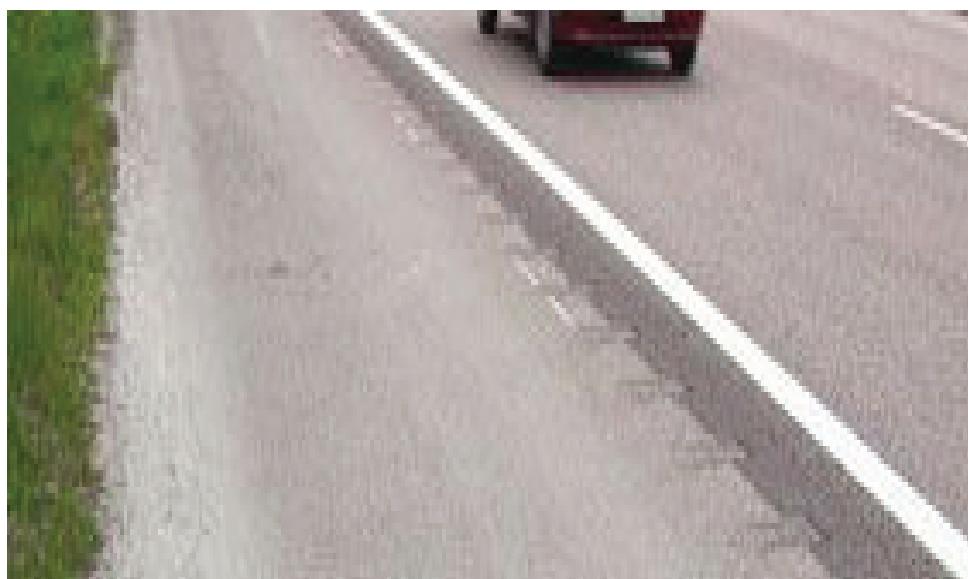


Рис. 4. Виброполоса

брали шоссе и выполнили данный тип разметки на прогоне протяженностью 400 м.

Результаты исследований показали, что наиболее эффективной является применение краски «Колор—М», т.к.

ее стойкость к истираемости от интенсивности движения автотранспорта выше, чем у других красок. Применение виброполос приводит к повышению безопасности движения.

### Литература

1. Гост Р 51256 — 99 Дорожная разметка и ее характеристики.
2. Гост Р 52289 — 2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств.
3. Новости в дорожном деле: Научно-технический информационный сборник/ ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР». М., 2007. — Вып. 2. — 60 с.

## Перспективы крупнопористых бетонов в жилищном и гражданском строительстве

Алексеев В.А., инженер, соискатель

Московский государственный строительный университет  
Национальный исследовательский университет (г. Москва)

**П**роблема энергосбережения в нашей стране регулируется является одной из самых актуальных и регулируется Федеральным законом Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», в связи с чем возрастает роль теплоизоляционных материалов, применяемых в строительстве.

Условно эффективные теплоизоляционные материалы можно разделить на две категории: содержащие органические вещества (пенополистирол, пенополиуретан, минеральная вата на синтетическом связующем) и неорганические (легкие бетоны).

Теплоизоляционные материалы, содержащие органические вещества по сравнению с легкими бетонами отличаются не только пониженной плотностью и теплопроводностью. Материалы этой категории также зачастую имеют низкую долговечность, вследствие деструкции полимеров, разрушения органической связки, снижения основных эксплуатационных характеристик со временем. Также до сих пор не утихают дискуссии о вреде этих веществ, наносящих урон человеческому здоровью, вследствие выделения токсичных продуктов разложения. Нельзя не упомянуть высокую горючесть теплоизоляционных материалов на основе органики с выделением токсичных веществ.

Что касается категории теплоизоляционных материалов, состоящих из неорганических веществ, то в случае применения таких материалов отпадает проблема долговечности — срок службы таких материалов в большинстве случаев превышает проектный срок эксплуатации здания. Неорганические теплоизоляционные материалы не выделяют вредных для здоровья человека веществ, являются негорючими веществами, а по себестоимости зачастую превосходят теплоизоляционные органические материалы.

Одним из самых недооцененных теплоизоляционных неорганических материалов является крупнопористый бетон, обладающим широким диапазоном свойств, обеспечивающих общее снижение массы конструкций, обеспечивая экономию теплоэнергии, снижения энергозатрат, с сохранением высоких экологических и эксплуатационных показателей материала.

Особенностью крупнопористого бетона является частичное или полное отсутствие мелких (песчаных) фракций заполнителей в его составе. Благодаря этому строение бетона характеризуется большим количеством крупных пор в виде межзерновых пустот, что приводит к уменьшению его объемного веса по сравнению с обычными бетонами и к понижению коэффициента теплопроводности. Вместе с тем исключение песка из состава крупнопористого бетона значительно уменьшает суммарную поверхность зерен заполнителей, обволакиваемой слоем цементного теста, и соответственно уменьшает содержание цемента в бетоне. Оно должно быть достаточным для создания контактов из цементного теста между зернами крупного заполнителя. Крупнопористое строение бетона обеспечивает невысокие показатели гигроскопичности, водопоглощения и величины капиллярного подсоса, что улучшает теплотехнические свойства стен. В качестве заполнителя для обычного крупнопористого бетона можно применять практически любые заполнители.

Имеются различные методики для модернизации крупнопористых бетонов, но существуют существенный потенциал повышения эффективности этого материала. Наиболее реальные способы достижения наибольшей эффективности крупнопористых бетонов следующие: повышение прочностных показателей при уменьшении объемной массы бетона, правильный выбор цемента и метод снижения плотности бетона, введение пластифицирующих, воздухововлекающих и комплексных до-

бавок нового поколения, применение заполнителей и наполнителей оптимального зернового состава, выбор оптимального соотношения компонентов бетонной смеси, использование передовых способов удаления излишней воды из бетона в процессе формования изделий, своевременная корректировка технологического процесса в случае изменения технологических параметров.

В СССР ряд ученых продуктивно занимался вопросами крупнопористого бетонов, были освоены технологии, запущены производства, выпускались материалы

и изделия из крупнопористого бетона. К сожалению после развала Союза перешел переход на стандартные схемы производства, выпуск традиционных материалов. Но последние достижения в области науки, выпуска модификаторов, наполнителей и добавок с качественно новыми свойствами, позволяют сделать вывод о перспективности крупнопористого бетона, целесообразности ведения научных разработок по этой тематике и экономической эффективности производства данного материала.

*Научное издание*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Международная заочная научная конференция  
г. Санкт-Петербург, март 2011 г.

*Материалы печатаются в авторской редакции*

Дизайн обложки: *Е.А. Шишков*

Верстка: *П.Я. Бурьянов*

Подписано в печать 21.03.2011. Формат 60х84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Гарнитура «Литературная». Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 23,2. Уч.-изд. л. 16,7. Тираж 300 экз.  
Заказ № 077-7.

Отпечатано в типографии  
издательско-полиграфической фирмы «Реноме»,  
192007, Санкт-Петербург, наб. Обводного канала, 40.  
Тел./факс (812) 766-05-66  
E-mail: [renome@comlink.spb.ru](mailto:renome@comlink.spb.ru)  
**[www.renomespb.ru](http://www.renomespb.ru)**